

# **UNIVERSIDAD DE CUENCA**



## **FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

#### **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL TRÁFICO VEHICULAR EN LA VÍA CUENCA-MOLLETURO Y SU IMPACTO SOBRE LA VEGETACIÓN ARBUSTIVA EN EL PARQUE NACIONAL CAJAS”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA  
AMBIENTAL**

#### **AUTORAS:**

LISSETH PAOLA ARIAS PILLAJO C.I.: 010739842-2

DIANA GABRIELA GUAMÁN LEÓN C.I.: 010574710-9

#### **DIRECTOR:**

BLGO. JULIO DANILO MEJÍA CORONEL, MSc. C.I.:010363858-1

CUENCA – ECUADOR  
2017



## RESUMEN

El Parque Nacional Cajas (PNC), ubicado al Occidente del cantón Cuenca, provincia del Azuay, es un área protegida debido a que presenta una alta riqueza ecológica, siendo un regulador hídrico natural. La carretera Cuenca - Molleturo que atraviesa el PNC, posee una gran afluencia vehicular, ya que conecta a la ciudad de Cuenca y Guayaquil, favoreciendo el desarrollo económico entre estas localidades; no obstante, causando la emisión de contaminantes atmosféricos como gases de combustión y material particulado (PM10, PM2,5 y material sedimentable), que afectan a la vegetación local en procesos de fotosíntesis, respiración y transpiración; provocando una aparente reducción de la biodiversidad endémica. La presente investigación busca determinar el efecto del material sedimentable en la riqueza y abundancia de su vegetación arbustiva, para lo cual, se establecieron cinco puntos principales de monitoreo siguiendo la longitud de la vía Cuenca-Molleturo y seis puntos transversales a cada uno de ellos, a una distancia de 50, 150 y 250 metros de los dos bordes de la carretera (izquierdo y derecho), en los cuales se calculó la concentración de material sedimentable y la riqueza y abundancia de especies vegetales arbustivas; para posteriormente obtener un coeficiente de correlación de Spearman entre estas variables. Las concentraciones de material sedimentable encontradas en la zona de estudio, no sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA), además se evidenció que los valores más altos son los que corresponden a los puntos de monitoreo más cercanos a la carretera. Los transectos muestreados presentaron altos índices de diversidad de Shannon y una riqueza similar entre ellos. Finalmente, al correlacionar las variables biológicas con las concentraciones de material sedimentable no se encontró un efecto significativo del mismo sobre la riqueza y abundancia de la vegetación arbustiva en el área de estudio.

**PALABRAS CLAVE:** Parque Nacional Cajas, vegetación arbustiva, material sedimentable, correlación de Spearman.



## ABSTRACT

Cajas National Park (PNC) is located west of Cuenca, Azuay. It is a protected area due to its high ecological richness, becoming a natural hydric regulator. The Cuenca – Molleturo highway crosses the PNC, presenting a high vehicle flow since it is the main connection between Guayaquil and Cuenca, supporting both cities' economic development. Vehicular traffic releases atmospheric pollutants such as combustion gases or particulate matter (PM 10, PM 2,5 and sedimentary matter), which affect local vegetation in the process of photosynthesis, respiration and transpiration; causing an apparent decrease of endemic biodiversity. The present research is focused on determining the effect of dustfall on the richness and abundance of vegetation, therefore, five main monitoring points were set up along the highway and six transversal points were set to a distance of 50, 150 and 250 meters from both edges of the road (left and right), where dustfall concentration, species richness, and individuals abundance of shrub vegetation were determined for subsequently getting a Spearman correlation between these variables. None of sedimentary material's concentrations found in the study area exceeded the maximum allowable limits by the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULSMA), showing the highest concentrations in the points closest to the road. The sampled transects presented high Shannon diversity index values and similar richness between them. Finally, the biological variables correlation with the sedimentary material concentrations showed no significant effect on the richness and abundance of shrub vegetation in the study area.

**KEY WORDS:** Cajas National Park, shrub vegetation, dustfall, Spearman correlation.



## Tabla de Contenido

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 14 |
| Objetivos .....   | 15 |
| CAPÍTULO I .....  | 16 |
| 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....                                       | 16 |
| 1.1 Parque Nacional Cajas.....  | 16 |
| 1.1.1 Generalidades .....   | 16 |
| 1.1.2 Ecosistemas del Parque Nacional Cajas.....                      | 17 |
| 1.2 Carretera Cuenca-Molleturo .....                                  | 19 |
| 1.3 Contaminación atmosférica .....                                   | 20 |
| 1.3.1 Material Particulado Sedimentable.....                          | 21 |
| 1.3.2 Efectos del material sedimentable sobre la vegetación .....     | 22 |
| 1.4 Biodiversidad.....  | 22 |
| 1.4.1 Índices de Biodiversidad .....                                  | 23 |
| 1.5 Métodos de Correlación .....                                      | 24 |
| 1.5.1 Coeficiente de correlación de Spearman (Rho).....               | 24 |
| CAPITULO II .....   | 25 |
| 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 25 |
| 2.1 Definición del área de estudio .....                              | 25 |
| 2.2 Tipo de Investigación .....                                       | 26 |
| 2.3 Concentración de material sedimentable.....                       | 26 |
| 2.3.1 Definición de los puntos de muestreo .....                      | 26 |
| 2.3.2 Muestreo de material sedimentable .....                         | 27 |
| 2.3.3 Análisis de laboratorio.....                                    | 28 |
| 2.3.4 Revisión de la Normativa Ambiental Vigente.....                 | 28 |
| 2.3.5 Cálculos: ecuaciones utilizadas para material sedimentable..... | 29 |



|  |    |
|--|----|
| 2.4 Influencia de variables meteorológicas en la concentración de las partículas sedimentables ..... | 30 |
| 2.5 Análisis de la biodiversidad vegetal .....   | 30 |
| 2.5.1 Determinación de la diversidad alfa .....  | 31 |
| 2.6 Análisis del efecto del material sedimentable en la vegetación.....                              | 32 |
| 2. 6.1 Determinación del coeficiente de correlación de Spearman.....                                 | 32 |
| CAPITULO III .....   | 34 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....  | 34 |
| 3.1 Concentración de material sedimentable.....  | 34 |
| 3.2 Influencia de las variables meteorológicas en la concentración de partículas sedimentables ..... | 38 |
| 3.3 Evaluación de la biodiversidad .....   | 38 |
| 3.4 Efecto del material sedimentable sobre la vegetación arbustiva .....                             | 40 |
| 4. CONCLUSIONES .....  | 43 |
| 5. RECOMENDACIONES.....  | 44 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 45 |
| 7. ANEXOS .....  | 52 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo. ....                    | 18 |
| <b>Figura 2.</b> Herbazal y arbustal montano alto y montano alto superior de páramo.....          | 19 |
| <b>Figura 3.</b> Arbustal siempreverde montano alto superior y subnival de páramo .....           | 19 |
| <b>Figura 4.</b> Mapa de ubicación de los puntos de estudio. ....                                 | 25 |
| <b>Figura 5.</b> Esquema de distribución de los puntos de estudio. ....                           | 27 |
| <b>Figura 6.</b> Concentración de Partículas Sedimentables (PS). Mes 1 .....                      | 35 |
| <b>Figura 7.</b> Concentración de Partículas Sedimentables (PS). Mes 2 .....                      | 35 |
| <b>Figura 8.</b> Comparación de la concentración mensual Partículas Sedimentables por rangos..... | 37 |
| <b>Figura 9.</b> Valores de Índice de Shannon e Índice de Shannon máximo por transecto.....       | 39 |



## Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Tipo de ecosistema.....  | 17 |
| <b>Tabla 2.</b> Ubicación de los puntos de estudio.....  | 26 |
| <b>Tabla 3.</b> Escala de Interpretación del índice de correlación de Spearman .....   | 33 |
| <b>Tabla 4.</b> Resultados del índice de correlación de Spearman del material sedimentable con variables biológicas. Rango 0-50m.....    | 40 |
| <b>Tabla 5.</b> Resultados del índice de correlación de Spearman del material sedimentable con variables biológicas. Rango 51-150m.....  | 40 |
| <b>Tabla 6.</b> Resultados del índice de correlación de Spearman del material sedimentable con variables biológicas. Rango 151-250m..... | 40 |

## Índice de Anexos

|   |    |
|---|----|
| <b>Anexo 1.</b> Coordenadas de estaciones meteorológicas de la Universidad Politécnica Salesiana .....                              | 52 |
| <b>Anexo 2.</b> Tabla de concentración de material sedimentable en todos los puntos de muestreo.....                                | 53 |
| <b>Anexo 3.</b> Variables meteorológicas de diciembre 2016 y febrero 2017 del área de estudio .....                                 | 54 |
| <b>Anexo 4.</b> Mapa de interpolación IDW de velocidad de viento del área de estudio .....  | 55 |
| <b>Anexo 5.</b> Mapa de interpolación IDW de precipitación del área de estudio.....   | 56 |
| <b>Anexo 6.</b> Resultados del índice de correlación de Spearman entre el material sedimentable y las variables meteorológicas..... | 57 |
| <b>Anexo 7.</b> Tabla taxonómica de las especies vegetales encontradas en el área de estudio .....                                  | 58 |
| <b>Anexo 8.</b> Tabla de valores de abundancia de especies por rangos .....   | 70 |
| <b>Anexo 9.</b> Tabla de valores de índice de Shannon e Índice de Shannon máximo por transecto .....                                | 71 |



Universidad de Cuenca

### Cláusula de Derecho de Autor

Yo, *Liseth Paola Arias Pillajo*, autora del Trabajo de Titulación “DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL TRÁFICO VEHICULAR EN LA VÍA CUENCA-MOLLETURO Y SU IMPACTO SOBRE LA VEGETACIÓN ARBUSTIVA EN EL PARQUE NACIONAL CAJAS”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 11 de julio del 2017

Liseth Paola Arias Pillajo

C.I: 0107398422

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



Universidad de Cuenca

### **Cláusula de Derecho de Autor**

Yo, *Diana Gabriela Guamán León*, autora del Trabajo de Titulación “DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL TRÁFICO VEHICULAR EN LA VÍA CUENCA-MOLLETURO Y SU IMPACTO SOBRE LA VEGETACIÓN ARBUSTIVA EN EL PARQUE NACIONAL CAJAS”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 11 de julio del 2017

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

Diana Gabriela Guamán León

C.I: 0105747109

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León





Universidad de Cuenca

### **Cláusula de Propiedad Intelectual**

Yo, *Liseth Paola Arias Pillajo*, autora del Trabajo de Titulación "DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL TRÁFICO VEHICULAR EN LA VÍA CUENCA-MOLLETURO Y SU IMPACTO SOBRE LA VEGETACIÓN ARBUSTIVA EN EL PARQUE NACIONAL CAJAS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 11 de julio del 2017

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized letters, is enclosed within a blue oval. The signature is positioned above a horizontal line.

Liseth Paola Arias Pillajo

C.I: 0107398422

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



Universidad de Cuenca

### **Cláusula de Propiedad Intelectual**

Yo, *Diana Gabriela Guamán León*, autora del Trabajo de Titulación “DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL TRÁFICO VEHICULAR EN LA VÍA CUENCA-MOLLETURO Y SU IMPACTO SOBRE LA VEGETACIÓN ARBUSTIVA EN EL PARQUE NACIONAL CAJAS”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 11 de julio del 2017

Diana Gabriela Guamán León

C.I: 0105747109

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



Universidad de Cuenca

### **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y a la Virgen, por brindarnos la vida y permitirnos llegar a este momento con la compañía y apoyo de nuestros seres queridos, por iluminar y proteger este largo camino.

A nuestros padres, por creer en nosotras y ser nuestro soporte para alcanzar tan anhelado sueño. Por su esfuerzo y dedicación para educarnos, ¡Este triunfo va para ustedes!

A nuestro Tutor Blgo. Danilo Mejía Msc. por toda la ayuda brindada para culminar con éxito este trabajo.

A Lorena Abad, por su amistad y su importante ayuda en el desarrollo del proyecto y en la vida universitaria.

Al Blgo. Danilo Minga por su colaboración en el reconocimiento taxonómico de especies.

A ETAPA-EP por su apertura en la emisión del salvoconducto para investigación en el Parque Nacional Cajas.

A los Galines: Carina, Esteban, Giovanna, Luis, Mishelle, por las bielas, las risas, los acolites y sobre todo por los grandes momentos compartidos junto a ustedes.

A nuestros compañeros de curso, que de una u otra manera nos han demostrado su aprecio.

Lisseth y Gabriela.

Lisseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



Universidad de Cuenca

### **DEDICATORIA**

A mis padres Gerardo y María, quienes han sido mi apoyo en todo momento, gracias por amarme siempre de la mejor manera y hacer de mí una buena persona con su ejemplo y consejos en este largo caminar. Sin ustedes mi sueño no se hubiese hecho realidad.

A mis hermanos Edwin, Henry, Andrés y a mi cuñada Nube, son los mejores seres que Dios me pudo dar, son un gran ejemplo de lucha y superación, sigamos siempre unidos con esa alegría que nos caracteriza.

A mis sobrinos Alexandra, Evelyn, Nicole y Martín que siempre serán mis pequeños, los amo con toda mi vida.

A mis primas Patricia, Thalía y Pamela, no tengo hermanas pero las tengo a ustedes que es lo mismo, nuestras locuras los llevo en mi mente, gracias por haber hecho ameno esos días de estrés y preocupación. Su ambiental las quiere.

A mis amigos en especial Johanna, Karina, Lorena por estar siempre junto a mí, las aprecio mucho al igual que a nuestro aliado “el mojito”.

A Iván, gracias por tu valiosa amistad a la distancia, siempre te llevo en mi corazón mejor amigo.

Lisseth Paola Arias Pillajo.

Lisseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



Universidad de Cuenca

### DEDICATORIA

A mis padres, Luis Gerardo y Rosa Elvira por su inmenso sacrificio para brindarme la oportunidad de superarme y por su amor incondicional que he recibido día a día, que ha sido el principal motor en mi vida y mi principal motivación para buscar el éxito y retribuirles el ciento por uno de toda su entrega.

Mi papá Luis, que me ha brindado un inmenso cariño y con su ejemplo me ha demostrado que la perseverancia, la Fe en Dios y en uno mismo nos permitirá llegar lejos y que ningún obstáculo es lo suficientemente grande como para detener nuestros sueños y nuestro caminar. Que día a día me ha enseñado a esforzarme para alcanzar mis objetivos en el aspecto académico y personal.

Mi mamá Rosa, quien siempre ha tenido las palabras de aliento exactas en los momentos en los que el camino parecía ser más difícil, animándome para continuar, enfrentar lo que venga y salir victoriosa. Además, ha sido mi principal apoyo y mi amiga durante toda mi vida.

A mis hermanos Pedro Andrés y Luis David, quienes, con su grandiosa personalidad, con sus consejos, con sus bromas, con su compañía, se han convertido en mis amigos y en mi soporte para salir adelante junto a mi familia.

A Galo Fabián, persona que me ha brindado su tiempo, amor, ayuda y ha compartido conmigo en los momentos más felices y más duros de mi vida, siempre alentándome para continuar.

A toda mi familia y amigos que de una u otra manera me han ayudado a culminar esta etapa de mi vida.

Diana Gabriela Guamán León

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



## INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Cajas (PNC) es un área protegida representada en su mayoría por páramo de pajonal (Grupo de trabajo en Páramos del Austro, 2010), estos son ecosistemas que poseen una alta riqueza ecológica, con flora endémica y paisajes únicos. Su vegetación ha desarrollado rasgos fisiológicos para adaptarse y sobrevivir a condiciones extremas del clima, topografía y suelos. La conjunción de estas características, el clima y sus suelos, han permitido a los páramos ser reguladores hídricos naturales (Díaz-Granados, Navarrete, & Suárez, 2005). Sin embargo, las acciones humanas tales como la urbanización, la agricultura, la construcción de represas y carreteras; traen consigo la destrucción de hábitats importantes, incluyendo el páramo y sus componentes (Sánchez, 2002).

La ejecución de proyectos viales contribuye al desarrollo tanto económico como social, no obstante, es necesario considerar los impactos ambientales negativos que estas obras civiles provocan; con el objetivo de plantear estrategias para su prevención, mitigación, y compensación (Arroyave et al., 2006).

Actualmente la sociedad sufre una considerable dependencia del transporte terrestre, motivo por el cual, se incrementa cada vez más la importancia del estudio de sus impactos ambientales, como lo es el efecto de la deposición del polvo en la vegetación (Farmer, 1993).

La vía Cuenca-Molleturo que atraviesa por el Parque Nacional Cajas conecta a la ciudad de Guayaquil con la ciudad de Cuenca, es una de las carreteras más modernas y completas del Ecuador (Takushi, 2011). La presencia de una carretera origina un flujo vehicular, que emite gases y partículas contaminantes derivados de los combustibles fósiles, por lo tanto, causan daños atmosféricos y ecológicos (Forman et al., 1995). A pesar de que el material particulado es un importante contaminante del aire, que provoca serios impactos sobre la vegetación (Arciniegas, 2012), el interés del estudio de sus efectos tiene un enfoque sesgado hacia los seres humanos, reduciendo la importancia de su estudio en los demás organismos y en los procesos ecológicos. Esto podría constituir la principal causa de la pérdida de la biodiversidad y de ecosistemas importantes (Prajapati, 2012).

Además, las investigaciones que se han desarrollado con respecto a la vegetación principalmente se enfocan en la respuesta que presenta una especie en particular al ser



## Universidad de Cuenca

expuesta al material sedimentable, pero son limitados los estudios que analizan su efecto en las poblaciones o comunidades (Grantz, Garner, & Johnson, 2003).

La presente investigación nos permitirá disponer de una base de información para visualizar si el material sedimentable está afectando a la comunidad vegetal del Parque Nacional Cajas, y determinar si se requieren medidas de mitigación y control de la contaminación del aire por polvo proveniente del tráfico vehicular, para la protección y conservación de tan importante ecosistema.

### **Objetivo General**

- Evaluar y analizar las concentraciones de material particulado sedimentable en el Parque Nacional Cajas y su efecto en la riqueza y abundancia de la vegetación arbustiva.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar las concentraciones de material sedimentable proveniente del tráfico vehicular en la vía Cuenca-Molleturo en un tramo del Parque Nacional Cajas.
- Comparar las concentraciones de material sedimentable con la normativa legal vigente.
- Realizar un inventario de especies vegetales en cada punto de muestreo de material sedimentable.
- Establecer una correlación entre la riqueza y abundancia vegetal y la concentración de material sedimentable.



## CAPÍTULO I

### 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 1.1 Parque Nacional Cajas

##### 1.1.1 Generalidades

El Parque Nacional Cajas (PNC) se encuentra dentro de las 26 áreas protegidas del Ecuador (Nyce, 2004) y los humedales del parque están incluidos en la lista RAMSAR debido a su importancia ecológica (Suárez, Acurio, Chimbolema, & Aguirre, 2016). Está localizado al Occidente del cantón Cuenca, provincia del Azuay, cuenta con una superficie de 29000 ha y está atravesada por la vía Cuenca - Molleturo (Grupo de trabajo en Páramos del Austro, 2010 & Navarrete, 2016); su altura oscila entre los 3150 y 4450 metros, correspondientes a la zona de Llaviuco y al sector Arquitectos respectivamente (Navarrete, 2016).

El clima en el Parque Nacional Cajas es frecuentemente nublado y fresco (Nyce, 2004), la intensidad del viento puede cambiar de suave a fuerte, pero es mayor en laderas y en cumbres. Su precipitación media anual es de 1200 mm (Minga, Ansaloni, Verdugo, & Ulloa, 2016) y gracias a las características de este ecosistema y sus lagos, el 60% de agua para consumo humano que utiliza la ciudad de Cuenca proviene del Parque Nacional Cajas (Michelutti et al., 2015; Suárez et al., 2016); sin embargo, a sus lagos no se les ha dado la debida importancia de conservación en los Andes tropicales (Michelutti et al., 2015).

El parque posee una topografía montañosa, donde existen 232 lagos de origen glacial conectados a través de pequeños ríos y arroyos, que posteriormente originan los ríos Tomebamba y Yanuncay que se encuentran localizados en la ciudad de Cuenca (Nyce, 2004).

Está formado por varios ecosistemas (Minga et al., 2016); sin embargo, la mayor parte de su área está cubierta por páramo de pajonal (Grupo de trabajo en Páramos del Austro, 2010). El páramo es esencial en el proceso de regulación hídrica, ya que las propiedades de su suelo y vegetación, le proporcionan una elevada capacidad de retención de agua; por lo tanto, controlan la escorrentía superficial y reducen la erosión de las zonas de menor altura (Díaz-Granados et al., 2005).





Según Hofstede, Segarra, & Mena (2003) a nivel mundial aproximadamente el 30% de páramos han sufrido una degradación y han sido transformados completamente, el 40% son naturales pero con modificaciones como ganado, quemas o carreteras; mientras que, el restante se encuentra en su estado natural.

Según el Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador, el Parque Nacional Cajas tiene un importante endemismo de 71 especies vegetales, con 21 especies exclusivas del lugar, de las cuales el 70% se encuentran en peligro de extinción y el 30 % cae en la categoría de especies vulnerables (Grupo de trabajo en Páramos del Austro, 2010).

Actualmente está manejado por ETAPA (Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado), perteneciente a la Municipalidad de Cuenca con el objetivo de proteger el medio natural, incentivar el turismo y la educación ambiental, así como, de cuidar el almacenamiento de agua y la regulación hídrica en época de sequía (Harden, 2006).

### 1.1.2 Ecosistemas del Parque Nacional Cajas

Según Minga et al., (2016) existen tres tipos de ecosistemas presentes en el Parque Nacional Cajas, los cuales se especifican en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Tipo de ecosistema.

| TIPO DE ECOSISTEMA   |  |   |
|--|--|---|
| Ministerio del Ambiente 2012                                       | Sierra et al. 1999                           | Josse et al. 2003   |
| Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo.           | Páramo herbáceo                              | Pajonales altimontanos y montanos paramunos.  |
| Herbazal y arbustal montano alto y montano alto superior de páramo | Incluido en bosque siempreverde montano alto | Pajonales arbustivos altimontano paramunos  |
| Arbustal siempreverde montano alto superior y subnival de páramo   | Páramo de almohadillas                       | Arbustales bajos y matorrales altoandinos paramunos<br>Matorrales edafoxerófilos en cojín altoandinos paramunos |

*Fuente: Minga et al., 2016*

### **Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo**

Comprende la mayor área de los ecosistemas de montaña en el Ecuador, se localiza en los valles glaciares, laderas y llanadas montañosas; su variación altitudinal va desde los 2850 a 3900 m.s.n.m. Contienen suelos Andosoles ricos en materia orgánica (60 kg Carbono/m<sup>2</sup>), su clima se caracteriza por alta humedad y posee una gran cantidad de agua con una excelente capacidad de regulación hídrica (Figura 1).

Dentro de este ecosistema las especies arbustivas más comunes presentes pertenecen a los géneros *Hypericum*, *Brachyotum*, *Pernettya*, *Diplostephium*, *Gaultheria*, *Baccharis*, *Gynoxys* y *Pentacalia* (Ministerio de Ambiente del Ecuador., 2012).



**Figura 1.** Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo.

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2012.

### **Herbazal y arbustal montano alto y montano alto superior de páramo**

Está localizado entre los 3300 a 3900 metros de altura con un relieve montañoso formado por pajonales amacollados de 1,20m junto con arbustos de hasta 3m de altura (Figura 2). Este ecosistema está desapareciendo debido a los efectos de la quema, pastoreo y expansión de la frontera agrícola (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2012). Se caracteriza por contener arbustos del género *Arcytophyllum*, *Berberis*, *Diplostephium*, *Pentacalia*, *Pernettya*, *Baccharis*, *Gynoxys*, *Brachyotum*, *Escallonia*, *Hesperomeles*, *Miconia*, *Buddleja*, *Monnina* e *Hypericum*.



**Figura 2.** Herbazal y arbustal montano alto y montano alto superior de páramo.  
Fuente: Ministerio del Ambiente, 2012.

### **Arbustal siempreverde montano alto superior y subnival de páramo**

Está ubicado entre los 4100 a 4400/4500 m de altura, se define como arbustal esclerófilo semipostrado con 0,5 a 1,5 metros de altura, es conocido como superpáramo y posee una vegetación fragmentada con suelos desnudos formando un sistema insular especialmente en los sectores nor-occidentales y nor-orientales del Ecuador. Los suelos son Andosoles húmicos e inceptisoles en menor proporción y su clima es húmedo y frío, pueden incluir congelamiento y descongelamiento del agua en un mismo día por ende muchas especies se han adaptado al clima (Figura 3). Los géneros arbustivos dominantes son *Loricaria*, *Pentacalia* y *Diplostephium* (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2012).



**Figura 3.** Arbustal siempreverde montano alto superior y subnival de páramo.  
Fuente: Ministerio del Ambiente, 2012.

## **1.2 Carretera Cuenca-Molleturo**

La Vía Cuenca-Molleturo que atraviesa el Parque Nacional Cajas es denominada de primer orden, tiene una longitud aproximada de 112 km y actúa como una conexión



entre dos de las ciudades más grandes del Ecuador: Guayaquil y Cuenca. El objetivo principal de su construcción fue mejorar la afluencia turística y reducir el costo del transporte de diferentes productos. El material con el que se construyó la carretera corresponde a concreto en un 100%, uno de los principales problemas generados en la zona son los deslizamientos de tierra que provocan que su mantenimiento resulte costoso (Takushi, 2011).

Su construcción empezó en el año 1969, debido a que el Parque Nacional Cajas aún no era reconocida dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas; cuando fue reconocida como tal, el trazo de la vía continuó hasta culminar la obra, trayendo consigo múltiples impactos, tales como derrumbes, tráfico, ruido, movimiento de tierras y derrames de hidrocarburos (Machado & Samaniego, 2012). La vía Cuenca-Molleturo es altamente transitada y fue diseñada para la circulación de 700 a 1500 vehículos por día (Astudillo et al., 2014).

El desarrollo de proyectos viales o carreteras es socialmente necesario (Coffin, 2007; Arroyave et al., 2006) y brinda múltiples beneficios como la expansión de la economía, puestos de trabajo, accesos a varios lugares, etc. (Forman et al., 2003). Sin embargo, provocan impactos al medio natural circundante, calidad de agua, suelo (incremento de desechos) y aire (debido al tráfico vehicular: ruido y contaminación atmosférica), variación en microclimas, pérdida de hábitat de fauna, la expansión urbana hacia zonas rurales; además, reduce y altera la composición de la vegetación (Forman et al., 2003; Coffin, 2007; Arroyave et al., 2006; Morales & Estévez, 2006).

El flujo vehicular es el causante de la emisión de un sin número de contaminantes a través de su tubo de escape, entre los que se encuentran principalmente gases de combustión que pueden contener compuestos tóxicos, orgánicos, oligoelementos y material particulado (Przybysz, Saebo, Hanslin, & Gawrónski, 2014).

### **1.3 Contaminación atmosférica**

La contaminación del aire o contaminación atmosférica, se define como la introducción a la atmósfera de materiales provenientes tanto de procesos naturales como antropogénicos, en una cantidad y permanencia en ella, suficiente para interferir en el bienestar del medio ambiente o de la vida humana. La Normativa Ambiental TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente), considera al material sedimentable como un contaminante criterio, por lo tanto, establece un límite





máximo permisible de concentración en el aire ambiente (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2011).

### **1.3.1 Material Particulado Sedimentable**

El polvo atmosférico está compuesto por una mezcla de partículas de diferentes metales, ácidos y otros materiales orgánicos o inorgánicos; una gran proporción de este polvo se sedimenta o se deposita en las superficies (material sedimentable), este proceso se lleva a cabo con mayor rapidez para las partículas de mayor tamaño (Wouters & Pauwels, 2012).

El material sedimentable también conocido como polvo sedimentable (Zapata, Quijano, Molina, Rubiano, & Londoño, 2008), es un conjunto de partículas con un diámetro mayor a 10  $\mu\text{m}$ , cuyo tiempo de suspensión en el aire es muy corto debido a que precipitan fácilmente por su peso (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2011; Ayala & Ochoa, 2011).

Otra definición atribuida al material sedimentable, es la de un conjunto de partículas gruesas tanto sólidas como líquidas, que pueden ser colectadas en un envase abierto por efecto de la gravedad a través de un proceso de sedimentación (Mićović, Alebić-Juretić, Matković, & Crvelin, 2010).

La sedimentación puede ser seca o húmeda, la primera es una transferencia directa de las partículas del aire hacia las diferentes superficies como el suelo, vegetación o agua; mientras que la segunda es un proceso más complejo, en el que las partículas de polvo se comportan como núcleos de condensación para el agua proveniente de la lluvia, niebla o nieve; ayudando a su deposición y eliminando los contaminantes de la atmósfera (Wouters & Pauwels, 2012).

Las partículas sedimentables se originan por la ruptura de partículas grandes en procesos como trituraciones, perforaciones, barreduras, tamizado y también en el transporte debido al polvo proveniente de la vía y al desgaste de neumáticos (Zapata et al., 2008), además de otros procesos como abrasión y combustión (cenizas y hollín) (Mićović et al., 2010).

Estudios evidencian que el polvo de carretera está compuesto principalmente por metales como Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo y Zinc (Bao, Qu, Ma, & Lin, 2016) y que su presencia es normalmente relacionada con el tráfico vehicular (Karuchit & Hirunkam, 2014).



### **1.3.2 Efectos del material sedimentable sobre la vegetación**

Para determinar el impacto negativo del polvo en la vegetación, es necesario considerar las características de sus partículas como tamaño, composición química y tasa de emisión (Farmer, 1993; García & Abad, 2015), así como, las condiciones meteorológicas, el estado y las características de la superficie vegetal (Farmer, 1993). De esta manera, las partículas más finas de polvo perjudican al envés de la hoja; mientras que, las partículas gruesas actúan negativamente sobre el haz de la misma (Prajapati, 2012). Además, es necesario considerar la distancia de la vegetación con respecto a la vía pues, Farmer (1993) determinó que en los puntos más lejanos de una carretera la deposición de polvo disminuye.

La vegetación puede verse afectada por la deposición directa de las partículas sobre su superficie, o por la deposición sobre el suelo en donde se producirá una absorción de las mismas (Sánchez, 2002; Ulrichs et al., 2008) o se generará una alteración en la composición química del suelo (Farmer, 1993).

El polvo funciona como una superficie adsorbente de los elementos polutantes volátiles, convirtiéndose en elementos fitotóxicos, que en caso de cubrir la superficie de las plantas impide la realización de la fotosíntesis, respiración y transpiración vegetal (Angold, 1997; Coffin, 2007; Duren et al., 2007; Prajapati, 2012; Spellerberg, 1998), ya que bloquea a los estomas, reduce los pigmentos (Bao et al., 2016) e interfiere en el intercambio de gases con el aire (Przybysz et al., 2014) y en la cantidad de luz disponible para el proceso fotosintético, pues cambia sus propiedades ópticas como la reflectancia (Prakash, Kumar, Singh & Kulshrestha, 2016; Prajapati, 2012), afectando a su crecimiento y resistencia e incrementando la susceptibilidad del ecosistema a ser dominado por especies de plantas no nativas, lo cual provoca una reducción de la biodiversidad endémica (Duren et al., 2007). Además, los metales pesados presentes en el polvo pueden limitar la absorción de nitrógeno y alterar el metabolismo celular, afectando a la absorción de nutrientes (Bao et al., 2016) y por lo tanto al desarrollo de la planta.

### **1.4 Biodiversidad**

La biodiversidad se define como la riqueza biológica de un sitio (Aguirre, 2013), en ecología es necesario medir la diversidad para probar teorías sobre la dinámica de los ecosistemas o el impacto de ciertas actividades (Moreno et al., 2011).



Para analizar la influencia de las actividades antropogénicas sobre la biodiversidad y estructura de un paisaje y para el establecimiento de medidas de manejo y conservación de ecosistemas, resulta conveniente la determinación de la diversidad alfa (Moreno, 2001; Álvarez et al., 2004).

### **Diversidad Alfa**

La diversidad alfa está definida como la diversidad biológica existente dentro de una comunidad específica (Ferriol & Merle, 2012; Moreno, 2001), incluye la composición y estructura de una comunidad vegetal. La composición abarca los parámetros de riqueza y abundancia absoluta y relativa. Se especifica de cada individuo su género, familia y especie, mientras que; la estructura además de considerar la riqueza de especies también toma en cuenta su importancia relativa dentro de la comunidad a través de ciertos índices de biodiversidad (Moreno, 2001).

#### **1.4.1 Índices de Biodiversidad**

Según Mostacedo & Fredericksen (2000), los índices de biodiversidad nos permiten describir qué tan diverso es un lugar, abarcando los aspectos de riqueza y abundancia de las especies vegetales.

#### **Índice de Shannon-Wiener**

De los índices utilizados para medir la diversidad alfa de una comunidad, el Índice de Shannon-Wiener es el más común debido a que toma en cuenta los factores de riqueza y abundancia (Ferriol & Merle 2012), expresa la uniformidad o equidad en la distribución de los individuos entre las diferentes especies de la comunidad (Moreno, 2001; Álvarez et al., 2004). Se define también, como el grado de incertidumbre existente al momento de elegir al azar un individuo de la muestra o comunidad y predecir a qué especie pertenecerá (León, 2014).

Si la comunidad fuese muy homogénea debido a la predominancia de una de las especies, el grado de incertidumbre será mucho menor que si todas las especies se encontraran en igual proporción (Pla, 2006).

El índice de Shannon no toma en cuenta la distribución espacial de las especies (Del Río, Montes, Montero, & Cañellas, 2003) y el valor obtenido permite comparar dos zonas paisajísticamente distintas o la misma zona en diferentes periodos de tiempo (Subirós, Varga, Llausas, & Ribas, 2006).



## 1.5 Métodos de Correlación

La relación de dos variables cuantitativas, puede ser establecida mediante métodos de correlación (Pértega & Pita, 2001) que expresan la intensidad de asociación de dichas variables sin implicar causalidad. La correlación entre variables X y Y se origina debido a que X influye sobre Y, viceversa o porque X y Y están relacionadas a una tercera (Kehr, 1994).

La relación entre las dos variables puede estar en términos de aumento o disminución y se pueden clasificar en:

- **Lineal o Curvilínea:** si el conjunto de datos se concentra en una línea o curva en la gráfica de dispersión.
  - **Positiva o directa:** Si al aumentar una variable, también crece la otra.
  - **Negativa o inversa:** Si al aumentar una variable, la otra disminuye.
- Nula:** Cuando no existe relación alguna, y el conjunto de datos se distribuyen al azar (Martínez, Tuya, Martínez, Pérez, & Cánovas, 2009).

### 1.5.1 Coeficiente de correlación de Spearman (Rho)

Es un coeficiente de asociación lineal no paramétrico (Martínez et al., 2009; Restrepo & González, 2007) alternativo al coeficiente de asociación lineal paramétrico de Pearson, por el mismo hecho de que los datos no representan una distribución normal (Kehr, 1994), es decir el rango de datos presentan valores extremos (Martínez et al., 2009).

El coeficiente de correlación representa el valor de la correlación y varía entre -1 si existe una correlación negativa y fuerte y 1 si la correlación es positiva y fuerte. Valores cercanos a cero muestran que no existe una correlación (Martínez et al., 2009).



## CAPITULO II

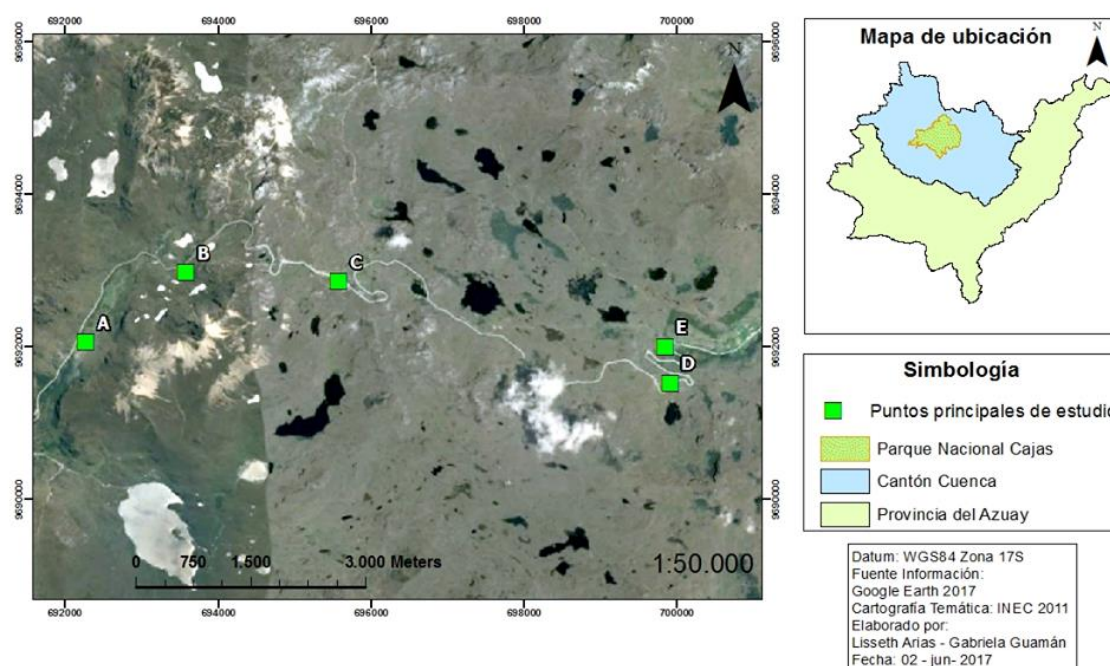
### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Definición del área de estudio

El área de estudio comprende la carretera Cuenca-Molleturo que atraviesa el Parque Nacional Cajas, ubicado en el cantón de Cuenca, en el suroeste de los Andes del Ecuador (Astudillo et al., 2014). Para el establecimiento de los puntos de muestreo se tomó un tramo de la vía de 12,8km de longitud, entre el Control Quinoas de coordenadas: 700864,00 m E, 9692056,00 m S y el control Huagrahuma de coordenadas 692261,00 m E, 9692071,00 m S (Figura 4).

Se aplicó un muestreo estratificado altitudinalmente, ya que se establecieron 5 puntos a lo largo de la carretera en función del gradiente altitudinal, cuyas coordenadas geográficas se especifican en la Tabla 2.

#### Mapa de ubicación del área de estudio



**Figura 4.** Mapa de ubicación de los puntos de estudio.  
Elaboración propia.



**Tabla 2.** Ubicación de los puntos de estudio

| Punto | Ubicación                    | Coordenadas   |                | Altitud (m) |
|-------|------------------------------|---------------|----------------|-------------|
|       |                              | X             | Y              |             |
| A     | Sector Control Huagrahuma    | 692266,69 m E | 9692059,17 m S | 3802        |
| B     | Sector Rancho Hermanos Prado | 693578,95 m E | 9692973,63 m S | 3947        |
| C     | Sector Tres Cruces           | 695576,81 m E | 9692853,14 m S | 4162        |
| D     | Sector Laguna Cucheros       | 699914,83 m E | 9691527,1 m S  | 3862        |
| E     | Sector Control Quinoas       | 699848,83 m E | 9692000,11 m S | 3772        |

*Elaboración Propia*

## 2.2 Tipo de Investigación

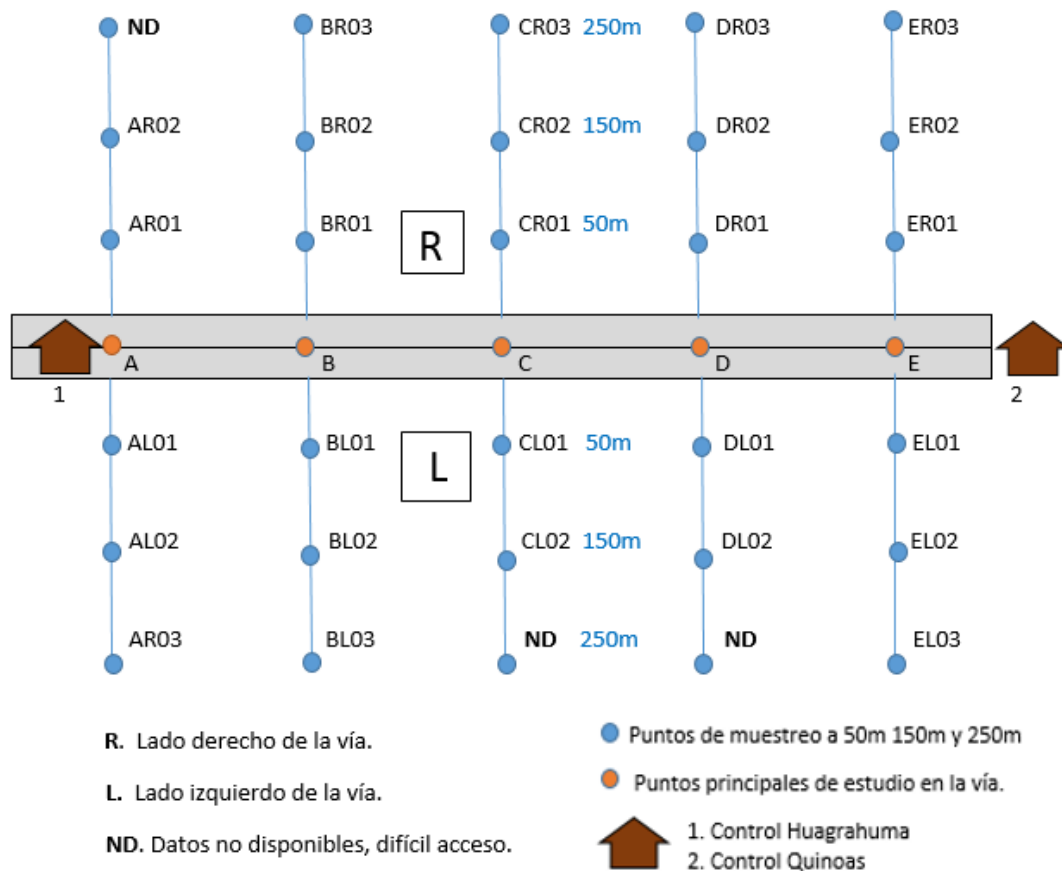
El estudio desarrollado es de tipo observacional, en el que se determinó la concentración de material particulado sedimentable y se estimó la diversidad vegetal en diferentes transectos a través de un inventario, ya que, como lo plantea Moreno (2001) un cambio en la diversidad nos proporciona una señal de un “proceso empobrecedor”. Posteriormente se estableció una correlación entre dichas variables para determinar el tipo de relación existente entre las mismas.

## 2.3 Concentración de material sedimentable

### 2.3.1 Definición de los puntos de muestreo

A partir de cada punto de muestreo establecido longitudinalmente en la carretera, se establecieron tres puntos más a una distancia perpendicular a la vía de 50m, 150m y 250m de los dos bordes de la carretera (izquierdo y derecho), abarcando cada uno rangos de distancia de 50, 100 y 100m respectivamente, en los cuales se determinó la concentración de material sedimentable (Figura 5).

La distancia máxima considerada fue de 250m debido a que, a partir de ese límite se encontraron áreas de difícil acceso (zonas rocosas o lagunas), y en ciertos lugares los puntos de muestreo hubiesen sido influenciados nuevamente por la cercanía de la vía debido a su irregularidad.



**Figura 5.** Esquema de distribución de los puntos de estudio.  
Elaboración propia.

### 2.3.2 Muestreo de material sedimentable

El material sedimentable fue muestreado durante los meses de diciembre 2016 y febrero 2017 (mes 1 y mes 2 respectivamente), su determinación se llevó a cabo como lo plantea el Acuerdo Ministerial 050 - Reforma al Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (2011). La medición fue a través del método gravimétrico; utilizando envases con un diámetro de 16,2 cm, cumpliendo con el mínimo de 15 cm establecido en esta normativa. Los envases fueron colocados a una altura de al menos 1,2 metros sobre el nivel del suelo en cada punto de muestreo por un periodo de tiempo de 30 días. Al finalizar el periodo de tiempo, los envases fueron retirados y llevados al laboratorio de Análisis Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, en donde se examinaron las muestras recolectadas, teniendo tanto partículas solubles como insolubles, cuya



sumatoria normalizada con respecto al área de captación del envase, nos da como resultado la concentración total de partículas sedimentables.

### **2.3.3 Análisis de laboratorio**

Para la determinación de las partículas insolubles se siguieron las especificaciones del Acuerdo Ministerial 050, utilizando un filtro de 47mm, y calculando la diferencia de peso ganado al retener a las partículas presentes en el líquido de lavado del envase.

Para calcular las partículas solubles, se tomó una alícuota de 50 ml del líquido de lavado, se lo colocó en una cápsula para ser llevado a una estufa hasta evaporación completa y finalmente se calculó el peso ganado por el mismo después de dicho proceso (Lodge, 1989).

### **2.3.4 Revisión de la Normativa Ambiental Vigente**

De acuerdo a la Organización mundial de la salud (OMS), el límite máximo permisible (LMP) de material particulado sedimentable en 30 días es de  $0,5 \text{ mg/cm}^2$  (García & Abad, 2015; Santillán, Damián, Torres, Cargua, & Torres, 2016).

Por otro lado, el Acuerdo Ministerial 050 - Reforma al Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA 2011), establece que la máxima concentración de una muestra, colectada durante los 30 días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ( $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$ ) (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2011).

Previo a la comparación con la normativa, los valores obtenidos fueron corregidos mediante la ecuación (4) obtenida del TULSMA, puesto que los establecidos en dicho cuerpo legal están sujetos a condiciones de referencia de  $25^\circ\text{C}$  y  $760 \text{ mm Hg}$ . Se consideraron para el área de estudio los valores promedios de precipitación y temperatura de  $476,589 \text{ mm Hg}$  y  $8,3^\circ\text{C}$  respectivamente sugeridos por Montenegro (2015).



### 2.3.5 Cálculos: ecuaciones utilizadas para material sedimentable

#### Cálculo de material insoluble

$$C_i = \frac{P_{ff} - P_{fi}}{A} \quad (1)$$

Donde:

$C_i$  = Concentración de partículas insolubles, mg/cm<sup>2</sup>

$P_{ff}$  = Peso final del filtro, mg

$P_{fi}$  = Peso inicial del filtro, mg

$A$  = Área de captación del contenedor, cm<sup>2</sup>

#### Cálculo de material soluble

$$C_s = \frac{P_{cf} - P_{ci}}{A} * \frac{V_1}{V_2} \quad (2)$$

Donde:

$C_s$  = Concentración de partículas solubles, mg/cm<sup>2</sup>

$P_{cf}$  = Peso final de la cápsula, mg

$P_{ci}$  = Peso inicial de la cápsula, mg

$A$  = Área de captación del contenedor, cm<sup>2</sup>

$V_1$  = Volumen de líquido total colectado, ml

$V_2$  = Volumen de líquido evaporado, ml

#### Cálculo de partículas totales

$$C_o = C_i + C_s \quad (3)$$

$C_o$  = Concentración de partículas totales, mg/cm<sup>2</sup>



### Corrección de concentración de material sedimentable, dada en el TULSMA:

$$C_c = C_o * \frac{760mmHg}{PbmmHg} * \frac{(273+t^{\circ}C)^{\circ}K}{298^{\circ}K} \quad (4)$$

Donde:

$C_c$ : Concentración corregida, mg/cm<sup>2</sup>

$C_o$ : Concentración de partículas totales calculada, mg/cm<sup>2</sup>

$Pb_l$ : Presión atmosférica local, en milímetros de mercurio.

$t^{\circ}C$ : temperatura local, en grados celsius.

### 2.4 Influencia de variables meteorológicas en la concentración de las partículas sedimentables

Para observar el efecto del clima sobre la concentración de material sedimentable, se correlacionó para cada mes y para cada rango de estudio, su concentración con la precipitación y velocidad del viento pertenecientes a cada punto de muestreo, a través del método de correlación de Spearman utilizando el software estadístico Rstudio versión 0.99.484.

Los valores meteorológicos fueron obtenidos para los mismos meses de muestreo de material sedimentable (diciembre de 2016 y febrero de 2017) mediante el software ArcGIS versión 10.2.2, utilizando el método de interpolación: ponderación de distancia inversa IDW (por sus siglas en inglés), a partir de los datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en todo el Cantón Cuenca, pertenecientes a la Universidad Politécnica Salesiana (Anexo1).

### 2.5 Análisis de la biodiversidad vegetal

El levantamiento de información de la vegetación se realizó mediante el método de transectos, ya que éste es el más usual debido a su rapidez de medición y a que integra de forma heterogénea la vegetación (Mostacedo & Fredericksen, 2000). Se establecieron como unidades muestrales los mismos rangos de distancia desde la carretera establecidos anteriormente para el monitoreo de material sedimentable, es decir, se delimitaron tres transectos: el primero de 0 a 50m, el segundo de 51m a 150m y el tercero de 151 a 250m, con una longitud de 50m, 100m y 100m respectivamente, y un ancho de 4 m cada uno. El muestreo estuvo dirigido a la vegetación arbustiva de una



altura menor a 2m; en cada transecto, se determinó la riqueza de especies y la abundancia de individuos.

La altura específica de cada individuo no fue considerada como un parámetro influyente para la determinación del efecto del material sedimentable, debido a que el monitoreo fue realizado en un periodo corto de tiempo (diciembre 2016 – febrero 2017), en el cual no existe una variación en el tamaño de la planta.

### **2.5.1 Determinación de la diversidad alfa**

Para la diversidad alfa se determinó en cada transecto la composición florística, incluyendo riqueza y abundancia, mientras que para la estructura de la comunidad se calculó el índice de Shannon – Weaner.

La riqueza específica se obtuvo mediante el desarrollo de un inventario de especies vegetales y la cuantificación del número total de especies halladas en cada transecto, su identificación fue llevada a cabo con ayuda del libro “Flora del Páramo del Cajas” (Minga et al., 2016), y con el apoyo de los profesionales del Herbario de la Universidad del Azuay.

La abundancia total es igual al número total de individuos de cada transecto, mientras que, la abundancia absoluta de cada especie es igual al número total de individuos de que pertenecen a dicha especie.

#### **➤ Cálculo del Índice de Shannon**

Es uno de los más usados para estimar la diversidad vegetal en un determinado sitio (Mostacedo & Fredericksen, 2000), sus valores están dentro de un rango que va de 0 (valor mínimo) a logaritmo neperiano de la riqueza ( $\ln S$  = valor máximo), adquiriendo el valor de 0 cuando hay la presencia de una sola especie, y  $\ln S$  cuando todas las especies de la muestra tienen un número igual de individuos (Moreno, 2001; Álvarez et al., 2004; Lande, 1996). Su valor incrementa con el número de especies y es mayor cuando las proporciones de especies son similares (Del Río et al., 2003).

Se calculó mediante la ecuación (5) utilizando el logaritmo natural, por lo tanto sus resultados se presentan en “nats” como unidad de medida (Encina, Zárate, Valdés, & Villareal, 2007).





$$H' = \sum A_{Ri} * \ln A_{Ri} \quad (5)$$

Donde:

$H'$  = Índice de Shannon – Wiener

$A_{Ri}$  = Abundancia relativa

$\ln$  = Logaritmo natural

La abundancia relativa fue calculada a través de la ecuación 6.

$$A_{Ri} = \frac{A_i}{A_T} \quad (6)$$

Donde:

$A_{Ri}$  = Abundancia relativa de la especie i

$A_i$  = Número de individuos de la especie i o abundancia absoluta de la especie i

$A_T$  = Número total de individuos de todas las especies del transecto o abundancia total.

## 2.6 Análisis del efecto del material sedimentable en la vegetación.

Con el objetivo de determinar la existencia de una afección del polvo proveniente del tráfico vehicular sobre la vegetación arbustiva del Parque Nacional Cajas, se correlacionaron las variables físicas y biológicas involucradas.

### 2. 6.1 Determinación del coeficiente de correlación de Spearman

Para establecer la correlación se tomaron las variables de: riqueza, abundancia, altitud del sitio de muestreo, y concentración de material sedimentable tanto del mes 1 como del mes 2. Este coeficiente de correlación fue calculado entre estas variables biológicas y el material sedimentable, pertenecientes a un mismo rango de distancia desde la carretera considerando todos los puntos de estudio. Es decir, se obtuvo un valor para cada rango: 0-50m, 51-150m y 151-250m.

Luego de un análisis en el software estadístico Rstudio versión 0.99.484, se determinó que los datos obtenidos en campo no cuentan con una distribución normal; por lo tanto, se procedió a la aplicación del coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ). Para la interpretación de sus resultados se utilizó la escala detallada en la Tabla 3.





Universidad de Cuenca

**Tabla 3.** Escala de Interpretación del índice de correlación de Spearman

| RANGO                   | RELACIÓN    |
|-------------------------|-------------|
| Escasa o nula           | 0 – 0,25    |
| Débil                   | 0,26 – 0,50 |
| Entre moderada y fuerte | 0,51 – 0,75 |
| Entre fuerte y perfecta | 0,76 – 1,00 |

***Fuente:*** (Martínez et al., 2009).



### CAPITULO III

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

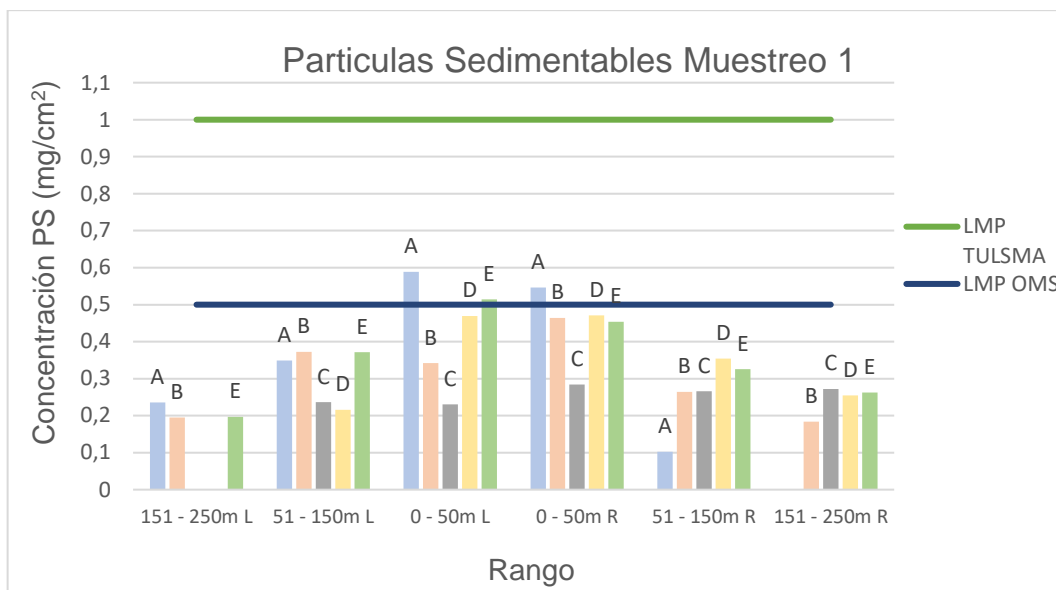
### 3.1 Concentración de material sedimentable

Se determinó la concentración de material sedimentable en 27 puntos distribuidos dentro del área de estudio definida en el Parque Nacional Cajas, los valores presentados en los dos meses de muestreo fueron relativamente bajos con respecto a la legislación ambiental ecuatoriana, puesto que ninguno superó el límite máximo permisible de  $1\text{mg/cm}^2$  en 30 días establecido en el Acuerdo Ministerial 050 - Reforma al Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2011), como se muestra en las Figuras 6 y 7; coincidiendo con lo encontrado por la EMOV-EP (2014) en su informe de calidad de aire del Parque Nacional Cajas.

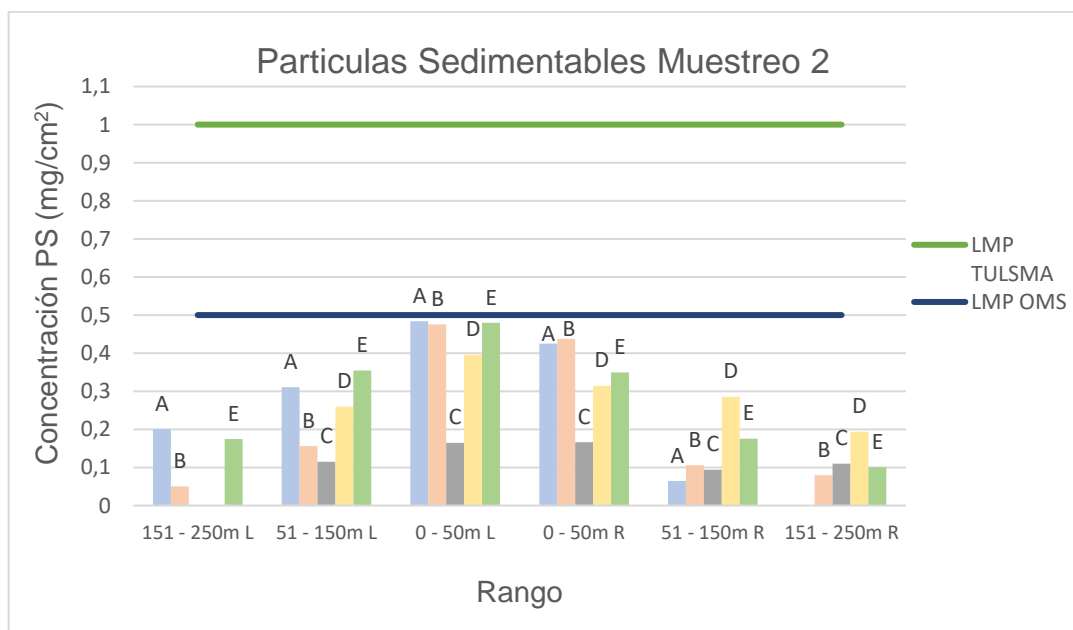
Sin embargo, las exigencias de la Organización Mundial de la Salud (OMS) son mayores, por lo que en las Figuras 6 y 7 se aprecia que, durante el primer mes de muestreo los puntos AL01, AR01 ubicados en el Control Huagrahuma y el punto EL01 del sector Control Quinoas, localizados todos ellos en el rango de 0-50m, superan el límite máximo de  $0,5\text{ mg/cm}^2$  establecido por dicha entidad.

Para el mes 1 los valores más altos fueron de  $0,5886\text{ mg/cm}^2$  y  $0,5459\text{ mg/cm}^2$  correspondientes al punto de monitoreo ubicado en el Control Huagrahuma (Punto A) en el rango de 0–50m desde el borde izquierdo y derecho de la carretera respectivamente. La menor concentración de material sedimentable para el mes 1 fue encontrada en el punto A con un valor de  $0,1022\text{ mg/cm}^2$  en el rango de 51–150m ubicado a la derecha de la carretera (Anexo 2).

De forma similar, para el mes 2 el mayor valor fue de  $0,4842\text{ mg/cm}^2$  encontrado en el punto A del Control Huagrahuma en el rango de 0-50 m desde el lado izquierdo de la vía, seguido también por el punto A con  $0,4794\text{ mg/cm}^2$  en el mismo rango. El valor más bajo se presentó en el punto B perteneciente al sector “Rancho Hermanos Prado” con valores de  $0,0504\text{ mg/cm}^2$  en el rango de 151–250m al lado izquierdo de la vía (Anexo 2).



**Figura 6.** Concentración de Partículas Sedimentables (PS). Mes 1. En el gráfico se muestran los valores de concentración de acuerdo a los rangos de distancia desde la vía, señalando L = LADO IZQUIERDO DE LA VIA y R= LADO DERECHO DE LA VIA.  
Elaboración propia



**Figura 7.** Concentración de Partículas Sedimentables (PS). Mes 2. En el gráfico se muestran los valores de concentración de acuerdo a los rangos de distancia desde la vía, señalando L = LADO IZQUIERDO DE LA VIA y R= LADO DERECHO DE LA VIA.  
Elaboración propia

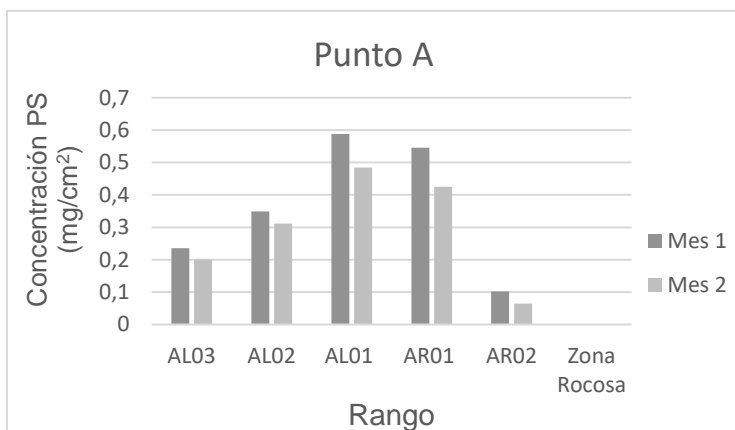


Los valores que corresponden al Control Huagrahuma son los más altos en los dos meses de muestreo, debido a que en este lugar el Ministerio del Ambiente y la empresa pública ETAPA controlan el transporte de carga de vehículos pesados para su ingreso al Parque Nacional Cajas, ocasionando que todos los automotores que transitan por la vía se detengan y aceleren nuevamente, incrementando así, la cantidad de material sedimentable generado.

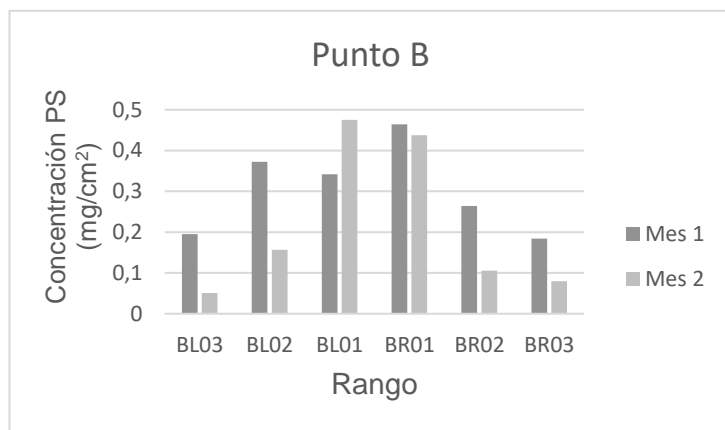
La concentración promedio de material sedimentable correspondiente al mes de diciembre 2016 fue de  $0,3267 \text{ mg/cm}^2$  y el valor del mes de febrero 2017 fue de  $0,2417 \text{ mg/cm}^2$ , valores ligeramente mayores a los encontrados por la EMOV-EP (2014) quienes establecieron estaciones de monitoreo en los sectores de LLaviucu, Quinoas, Toreadora, Tres cruces, Mazan y Burines; obteniendo valores medios de concentración de  $0,18$  y  $0,17 \text{ mg/cm}^2$  para el mes de diciembre y febrero del 2014 respectivamente. Observando que la concentración media de material sedimentable fue mayor para el mes 1 (diciembre); además, analizando la Figura 8 se aprecia que este hecho se presenta casi en la totalidad de los puntos de muestreo.

La mayoría de los puntos de estudio muestran que las concentraciones más altas de material sedimentable corresponden a los rangos de distancia de 0-50m desde la vía. Por otro lado, los rangos más alejados de la carretera (151-250 m) poseen valores mucho más bajos (Figuras 6 y 7), coincidiendo con Farmer (1993) y Bignal et al., (2007) que manifiestan que, a mayor distancia desde la carretera, la concentración de material sedimentable disminuye.

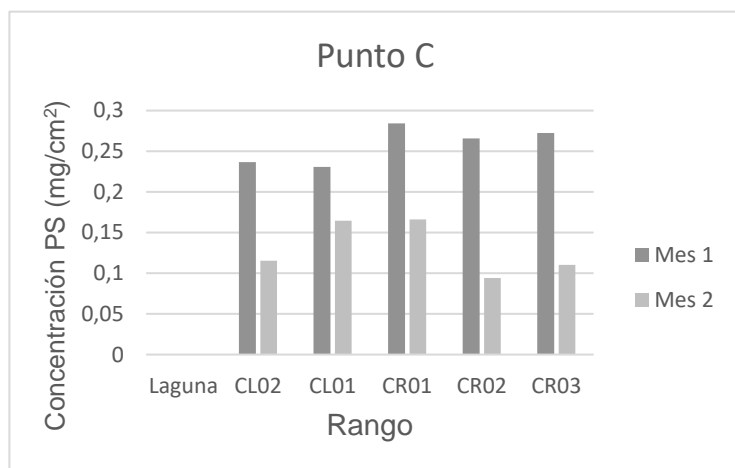
Sin embargo, en el mes 1 de muestreo se aprecia que el punto B al lado izquierdo de la vía no cumple esta tendencia, ya que la concentración del rango de 51-150m (BL02) resultó ser mayor que los rangos BL01 (0-50m) y BL03 (151-250m); debido a que en esa muestra hubo una mayor cantidad partículas provenientes de las hojas de plantas encontradas en el recipiente.



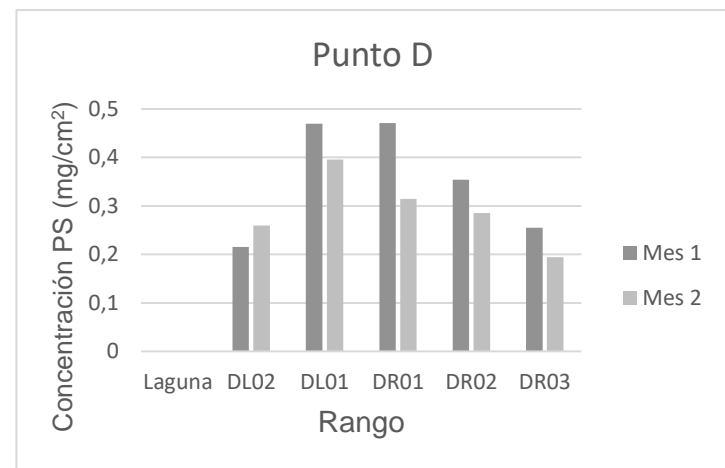
**Figura 8a.** Concentración de partículas sedimentables-Punto A.



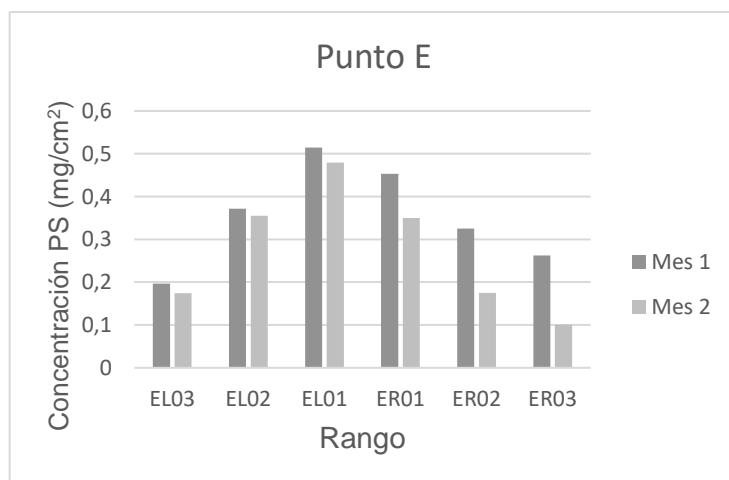
**Figura 8b.** Concentración de partículas sedimentables-Punto B.



**Figura 8c.** Concentración de partículas sedimentables-Punto C.



**Figura 8d.** Concentración de partículas sedimentables-Punto D.



**Figura 8e.** Concentración de partículas sedimentables-Punto E.

**Figura 8.** Comparación de la concentración mensual Partículas Sedimentables por rangos.  
Mes1 (Dic 2016) y Mes 2 (Feb 2017)  
Elaboración propia



### 3.2 Influencia de las variables meteorológicas en la concentración de partículas sedimentables

En el Anexo 3 se muestran los valores mensuales de precipitación y velocidad del viento obtenidos para cada punto de muestreo mediante el método de interpolación IDW (Anexos 4 y 5), datos que fueron correlacionados con las concentraciones de material sedimentable y cuyos valores presentados, se encuentran en las categorías escasa y débil (Anexo 6) según la escala de Martínez et al., (2009). Demostrando que, en la zona de estudio el material sedimentable no está siendo influenciado por las variables meteorológicas mencionadas.

### 3.3 Evaluación de la biodiversidad

Se realizó un inventario de vegetación en los 27 transectos establecidos en el área de estudio, encontrando una riqueza total de 25 especies de plantas, pertenecientes a 9 familias, dominando la *Asteraceae* con 12 especies pertenecientes a ella. Las especies están distribuidas de manera uniforme en 15 Géneros diferentes, la más abundante que se encontró fue la *Valeriana microphylla* de la familia *Caprifoliaceae* con 267 individuos. De acuerdo a Minga, Verdugo, Ansaloni, & Izco, (2012) y Minga et al., (2016) del número total de especies encontradas 10 de ellas son endémicas del Ecuador (Anexo 7).

De acuerdo a la altitud de cada punto de estudio se identificó su tipo de ecosistema según la clasificación del Ministerio de Ambiente del Ecuador (2012), encontrando que los Puntos A, D y E corresponden al ecosistema Herbazal y arbustal montano alto y montano alto superior de páramo, el punto B al Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo y el punto C al Arbustal siempreverde montano alto superior y subnival de páramo.

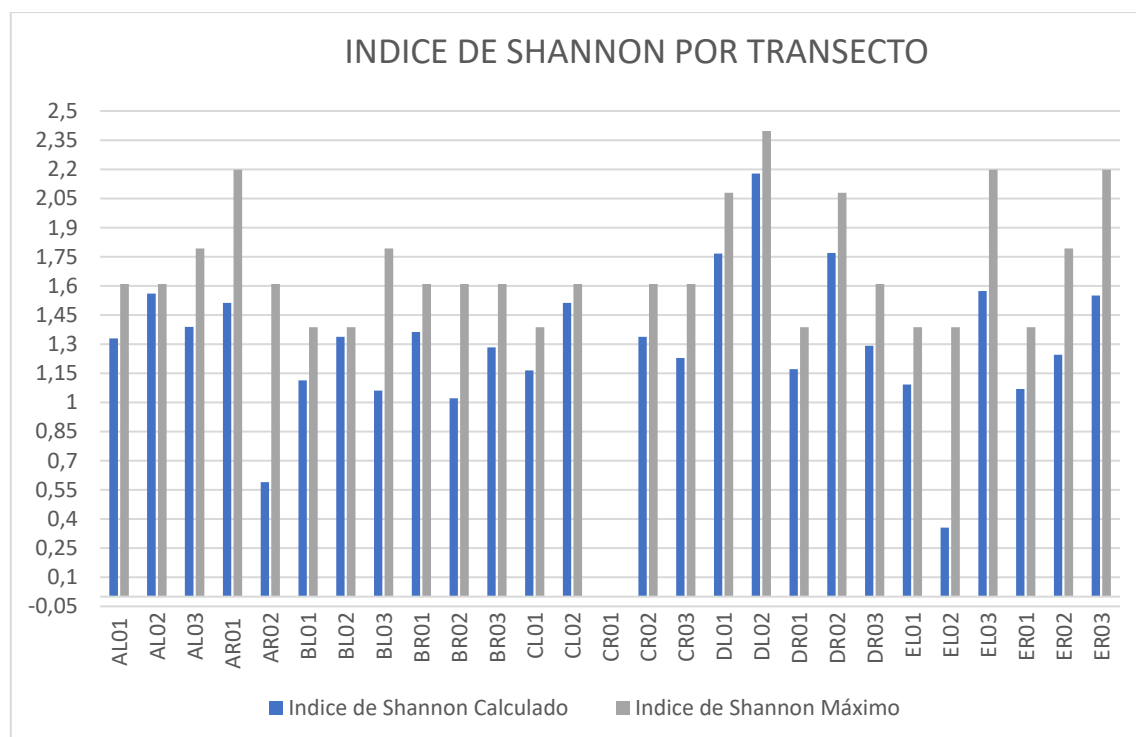
Los géneros encontrados en la zona de estudio son: *Arcytophyllum*, *Baccharis*, *Berberis*, *Brachyotum*, *Chuquiraga*, *Diplostephium*, *Gynoxys*, *Hesperomeles*, *Hypericum*, *Loricaria*, *Monticalia*, *Pernettya*, *Polylepis*, *Symplocos* y *Valeriana*, muchos de ellos mencionados como géneros representativos de estos ecosistemas en el documento “Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental” (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2012).

Analizando la composición florística por rango de distancia a la carretera, se observa que en el rango de 151-250m la especie que presentó mayor abundancia fue la *Monticalia arbutifolia*, para el rango de 51-150m la especie más abundante fue *Hypericum quítense*; mientras que, para el rango de 0-50m la especie con abundancia

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León

más alta fue la *Valeriana microphylla* (Anexo 8), esta última podría ser considerada para estudio como bioindicadora de material sedimentable u otros contaminantes provenientes del tráfico vehicular, ya que domina en los transectos más cercanos a la carretera y como lo mencionan Forman & Alexander (1998), en los bordes cercanos a una vía hay predominancia de las especies más resistentes a perturbaciones.

Se aplicó el índice de diversidad de Shannon en cada transecto, sus resultados se muestran en el Anexo 9, cuyos valores están entre 0 y 2,1784, el índice de Shannon más alto para el rango 0-50 m fue de 1,5118 ubicado en el Control Huagrahuma; para el rango de 51-150m fue de 2,1784 y para el transecto del rango más lejano 151-250m el mayor valor obtenido fue igual a 1,5730. En la Figura 9 se puede observar que la mayoría de los valores de Shannon son cercanos a sus valores máximos respectivos, que según Álvarez et al., (2004) y Lande (1996) se calculan mediante el logaritmo de la riqueza, demostrando que todos los transectos estudiados presentan una distribución uniforme de sus individuos dentro de las especies de cada uno.



**Figura 9.** Valores de Índice de Shannon e Índice de Shannon máximo por transecto  
Elaboración propia



### 3.4 Efecto del material sedimentable sobre la vegetación arbustiva

En las Tablas 4, 5 y 6 se muestran los valores de correlación para las variables biológicas: altura del punto de muestreo (AI), riqueza (S), abundancia (A) y concentración de material sedimentable del mes 1 (PS1) y del mes 2 (PS2), correspondientes a los rangos de 0-50m, 51-150m y 151-250m respectivamente.

**Tabla 4.** Resultados del índice de correlación de Spearman del material sedimentable con variables biológicas. Rango 0-50m

|     | AI      | S      | A      | PS1    | PS2 |
|-----|---------|--------|--------|--------|-----|
| AI  | 1       |        |        |        |     |
| S   | -0,2659 | 1      |        |        |     |
| A   | -0,2857 | 0,8329 | 1      |        |     |
| PS1 | -0,7575 | 0,6227 | 0,4620 | 1      |     |
| PS2 | -0,5515 | 0,4151 | 0,3708 | 0,6606 | 1   |

*Elaboración propia.*

**Tabla 5.** Resultados del índice de correlación de Spearman del material sedimentable con variables biológicas. Rango 51-150m

|     | AI      | S       | A       | PS1    | PS2 |
|-----|---------|---------|---------|--------|-----|
| AI  | 1       |         |         |        |     |
| S   | -0,1333 | 1       |         |        |     |
| A   | -0,3944 | 0,4732  | 1       |        |     |
| PS1 | -0,3282 | -0,4411 | -0,0792 | 1      |     |
| PS2 | -0,6504 | 0,0648  | 0,0243  | 0,6000 | 1   |

*Elaboración propia.*

**Tabla 6.** Resultados del índice de correlación de Spearman del material sedimentable con variables biológicas. Rango 151-250m

|     | AI      | S       | A       | PS1    | PS2 |
|-----|---------|---------|---------|--------|-----|
| AI  | 1       |         |         |        |     |
| S   | -0,6614 | 1       |         |        |     |
| A   | -0,3928 | 0,6047  | 1       |        |     |
| PS1 | -0,1071 | -0,0188 | -0,4285 | 1      |     |
| PS2 | -0,3214 | 0       | -0,6428 | 0,3928 | 1   |

*Elaboración propia*

Considerando que el polvo de carretera puede interferir en el proceso respiratorio, fotosintético y de transpiración de la planta, así como facilitar la absorción de contaminantes gaseosos ocasionando daños fitotóxicos (Coffin, 2007 & Farmer, 1993);





Farmer (1993) determinó que el polvo de cemento (uno de los materiales de la vía Cuenca -Molleturo) causa una disminución del crecimiento vegetal y una interferencia en el desarrollo de las estructuras reproductivas; tomando en cuenta además, que éste puede provocar clorosis, necrosis y epinastia en la planta (Prajapati & Tripathi, 2008), y que el polvo es capaz de bloquear los estomas y reducir la tasa de fotosíntesis, se podría asumir que el polvo tendrá un notorio impacto en la comunidad vegetal reduciendo tanto su riqueza como abundancia (Thompson, Mueller, Flückiger, & Rutter, 1984).

Sin embargo, en las Tablas 5 y 6, se puede apreciar que la correlación de la riqueza y abundancia con el material sedimentable para los rangos más alejados de la carretera, presentan valores menores a 0,5 que de acuerdo con la escala de Martínez et al., (2009) se enmarca como una correlación desde escasa a moderada.

Este resultado puede atribuirse a que los efectos del polvo sobre la vegetación dependen de la especie estudiada (García & Abad, 2015), de la topografía del paisaje, y de la concentración y composición de las partículas sedimentables; entre las características de la planta que influyen están la pilosidad, forma y superficie expuesta de las hojas (Dalmasso, Candia, & Llera, 1997; Grantz et al., 2003), así como su tolerancia a la exposición de metales pesados u otros elementos (García & Abad, 2015). Es decir, los bajos valores de Rho pueden ser producto de las reacciones individuales de cada especie y de que la concentración de material sedimentable es muy baja para toda la zona, por lo tanto, no existe un efecto sobre la vegetación. Sin embargo, si estas variables fueran analizadas para cada especie de forma individual y correlacionadas con el material sedimentable, talvez se encuentre un resultado diferente que indique un efecto del mismo en la riqueza y abundancia de dicha especie.

No obstante, en el rango de 151-250m existe un valor de correlación de -0,6428 entre el material sedimentable y la abundancia cayendo bajo la categoría de correlación moderada, demostrando la posible existencia de un efecto del material sedimentable en la abundancia de individuos.

En el rango de 0-50m se observa la presencia de una correlación positiva entre la riqueza y abundancia con el material sedimentable, presentando valores que caen dentro de la categoría de correlación débil y moderada (Tabla 4). Este hecho posiblemente, se produce porque en los bordes de la carretera Cuenca-Molleturo, frecuentemente se ha llevado a cabo la plantación de la especie *Polylepis racemosa* con un fin tanto ornamental, como para combatir la erosión originada por los desmontes de

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



tierra para la construcción de la vía (Minga et al., 2012), dicha especie es utilizada para reforestación debido a que posee una mayor tolerancia a perturbaciones ambientales y crece con mayor rapidez que las especies nativas del Parque Nacional Cajas. (Astudillo et al., 2014; Machado & Samaniego, 2012). Es posible, que la introducción de esta especie en los transectos ubicados en el rango de distancia de 0-50m, sea la causante de que el valor alto o bajo de su abundancia sea independiente de la concentración de material sedimentable, pudiendo encontrar así coincidencialmente, una mayor abundancia en lugares con mayor concentración de material sedimentable, dándonos una correlación positiva, sin significar que el material sedimentable sea un factor que favorezca la riqueza o abundancia de especies, pues como lo menciona Kehr (1994) un coeficiente de correlación no necesariamente implica causalidad.

Es necesario señalar que la presencia de metales pesados en el material particulado sedimentable, es un factor importante al momento de evaluar su efecto en la vegetación. En el Parque Nacional Cajas (PNC) la composición, podría asemejarse a la encontrada en la zona urbana de Cuenca, que según García & Abad (2015) contiene principalmente: Cobre, Cromo, Hierro, Manganeseo, Níquel y Zinc. Estos elementos en altas concentraciones influyen de forma negativa en el proceso fisiológico y metabólico de la planta (Acosta et al., 2003). Por lo tanto, sería importante analizar este parámetro en el material sedimentable del PNC en futuras investigaciones.



## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES

Después de evaluar y analizar el material particulado sedimentable y la vegetación, el desarrollo del presente proyecto de investigación ha permitido determinar que no existe un efecto significativo de este contaminante sobre la riqueza y abundancia vegetal arbustiva en el área de estudio del Parque Nacional Cajas.

Las concentraciones de material sedimentable obtenidas en todos los puntos muestreados, presentaron valores por debajo del límite máximo permisible establecido en el Acuerdo Ministerial 050- Reforma al Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (2011). Sin embargo, durante el primer mes, tres sitios superaron el límite máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud. El sitio en el que se encontró una mayor cantidad de partículas sedimentables para los dos meses de estudio fue el Control Huagrahuma con un valor máximo de 0,5886 mg/cm<sup>2</sup> para el rango de 0-50m (AL01).

En la zona de estudio la precipitación y velocidad del viento no influyeron en las concentraciones de material sedimentable, ya que, no hubo una gran variación espacial entre puntos de muestreo.

Al realizar el inventario de diversidad vegetal se registró una abundancia de individuos de 1358 y un total de 25 especies, que se distribuyen de manera uniforme en todos los transectos, siendo la más abundante la *Valeriana microphylla*; especie que predomina en los transectos más cercanos a la carretera, por lo que podría ser analizada como bioindicador de material sedimentable. Además, se aprecia que existe un importante número de especies endémicas del Ecuador.

Correlacionando las variables biológicas con el material sedimentable, se encontró que en el rango más próximo a la carretera existe una relación directa débil entre ellas, debido a la presencia de la especie *Polylepis racemosa* introducida para reforestación. Para los rangos de 51-150m y 151-250m de distancia, los valores del índice de correlación de Spearman están dentro de la categoría de regular y mala, indicando que las partículas sedimentables no están influyendo en la riqueza y abundancia de la vegetación arbustiva del área de estudio.



Una de las razones por las que no existe un efecto en la vegetación arbustiva del Parque Nacional Cajas, es que la concentración de material sedimentable es considerablemente baja en todos los rangos de estudio.

De acuerdo a los resultados de la investigación, el Parque Nacional Cajas cuenta con una buena calidad de aire en cuanto a material sedimentable se refiere; pues los valores bajos de concentración encontrados, corresponden a meses festivos en los cuales generalmente existe una mayor afluencia vehicular, por lo que se puede decir que en los meses no festivos su concentración será aún menor. Ante esta situación, se determina que no se requiere de medidas adicionales de control de material particulado en esta zona.

La principal limitación para el desarrollo del presente estudio, fue la insuficiente cantidad de investigaciones realizadas con un enfoque en la población de especies vegetales; pues casi la totalidad de la bibliografía consultada, está orientada solamente a las respuestas fitotóxicas y fisiológicas de las plantas ante la exposición de material sedimentable, por lo que, no fue posible la comparación de los resultados de afección a la biodiversidad vegetal.

### 5. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio similar en el Parque Nacional Cajas, pero enfocado en el análisis de un número determinado de especies, debido a que cada una reacciona de forma diferente ante el material sedimentable por sus características anatomorfológicas propias, por lo tanto, se podría conseguir un resultado más acertado en la correlación.

Realizar un análisis de metales pesados en el material sedimentable del Parque Nacional Cajas, para observar su distribución a lo largo de la carretera y determinar si éstos ejercen un efecto en la comunidad de las especies vegetales de este ecosistema.

Desarrollar investigaciones que evalúen el efecto fitotóxico del material sedimentable en la especie más representativa del área de estudio *Valeriana microphylla* y en las menos representativas que son la *Symplocos nana* y la *Loricaria myrsinites*, puesto que, podrían presentar una alta resistencia o una alta sensibilidad respectivamente ante dicho contaminante.

Finalmente, se sugiere a las empresas públicas y privadas que manejan información ambiental del Parque Nacional Cajas, brindar mayores facilidades de acceso a la misma,

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



para el desarrollo de investigaciones que aportan al conocimiento y mejora de la gestión ambiental.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Y., Paolini, J., Flores, S., Benzo, Z., Zauahre, M. E., Toyo, L., & Senior, A. (2003). Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza. *Multiciencias*, 3(1), 51–60.
- Aguirre, Z. (2013). *Guía de Métodos para medir la biodiversidad*. Universidad Nacional de Loja. Loja.
- Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., ... Villareal, H. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Bogotá.
- Angold, P. . (1997). The impact of a road upon adjacent heathland vegetation: Effects on plant species composition. *Journal of Applied Ecology*, 34(2), 409–417.  
<http://doi.org/10.2307/2404886>
- Arciniegas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM 10. *Luna Azul*, (34), 195–213.
- Arroyave, M. D. P., Gómez, C., Guitiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C., ... Ramos, K. C. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquía*, (5), 45–57. Retrieved from  
<http://revista.eia.edu.co/articulos5/art35.pdf>
- Astudillo, P. X., Samaniego, G. M., Machado, P. J., Aguilar, J. M., Tinoco, B. A., Graham, C. H., ... Farwig, N. (2014). The impact of roads on the avifauna of páramo grasslands in Cajas National Park, Ecuador. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 49(3), 204–212.  
<http://doi.org/10.1080/01650521.2014.960778>
- Ayala, B., & Ochoa, D. (2011). *Determinación de la Contaminación del Medio Ambiente, ocasionada por polvo sedimentable, índice de corrosividad y lluvia ácida en cinco facultades de la ciudad universitaria*. Universidad de el Salvador.  
<http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>



- Bao, L., Qu, L., Ma, K., & Lin, L. (2016). Effects of road dust on the growth characteristics of *Sophora japonica* L. seedlings. *Journal of Environmental Sciences*, 46, 147–155. <http://doi.org/10.1016/j.jes.2015.08.031>
- Signal, K. L., Ashmore, M. R., Headley, A. D., Stewart, K., & Weigert, K. (2007). Ecological impacts of air pollution from road transport on local vegetation. *Applied Geochemistry*, 22(6), 1265–1271. <http://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2007.03.017>
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 396–406. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>
- Dalmasso, A., Candia, R., & Llera, J. (1997). La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina*, (6), 91–97.
- Del Río, M., Montes, F., Montero, G., & Cañellas, I. (2003). Revisión : Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigaciones Agrarias: Sistemas Y Recursos Forestales*. INIA, 12(1), 159–176. <http://doi.org/10.5424>
- Díaz-Granados, M., Navarrete, J., & Suárez, T. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, 64 – 75.
- Duren, D., Haas, C., Melcher, C., Stewarte, S., Ponds, P., Sexton, N., ... Bowen, Z. (2007). *Environmental effects of off-highway vehicles on Bureau of Land Management lands: A literature synthesis, annotated bibliographies, extensive bibliographies, and internet resources*. U.S. Geological Survey, Reston. Virginia.
- EMOV-EP. Informe de la Calidad del Aire – Parque Nacional Cajas. Contaminación del Aire. Cuenca, Ecuador. pp.45
- Encina, J., Zárate, L., Valdés, J., & Villareal, J. (2007). Caracterización ecológica y diversidad de los bosques De Encino De La Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, (81), 51–63.
- Farmer, A. M. (1993). The effects of dust on vegetation-a review. *Environmental Pollution*, 79(1), 63–75. [http://doi.org/10.1016/0269-7491\(93\)90179-R](http://doi.org/10.1016/0269-7491(93)90179-R)
- Ferriol, M., & Merle, H. (2012). *Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad. Aplicación al estudio de comunidades vegetales*. Universidad



Politécnica de Valencia. <http://doi.org/10.1073/pnas.262413599>

Forman, R., & Alexander, L. (1998). Roads and Their Major Ecological Effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1), 207–231.

<http://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>

Forman, R., Friedman, D. S., Fitzhenry, D., Martin, J. D., Chen, A. S., & Alexander, L. E. (1995). Ecological effects of roads: Toward three summary indices and an overview for North America. *Habitat Fragmentation and Infrastructure*, 40–54.

Forman, R., Sperling, D., Bissonette, J., Clevenger, A., Cutshall, C., Dale, V., ...

Winter, T. (2003). *Road ecology: science and solutions*. Island Press. United States of America. Retrieved from

[http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=As1yk7rRUhsC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Road+ecology:+science+and+solutions&ots=ueJ6QNXFao&sig=q9Ng-ETWsyZ3tJn6RM\\_ptjaG1\\_8](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=As1yk7rRUhsC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Road+ecology:+science+and+solutions&ots=ueJ6QNXFao&sig=q9Ng-ETWsyZ3tJn6RM_ptjaG1_8)

García, N., & Abad, M. (2015). Análisis preliminar de la fitotoxicidad del material particulado sedimentable de la zona urbana de Cuenca. *MASKANA*, 6(1), 95–105.

Grantz, D. A., Garner, J. H. B., & Johnson, D. W. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29(2-3), 213–39.

[http://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00181-2](http://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00181-2)

Grupo de trabajo en Páramos del Austro. (2010). *El Páramo del Austro*. El Oro.

Harden, C. P. (2006). Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes, 79, 249–263. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.021>

Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2003). *Los páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de Los Páramos*. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia. Quito.

Karuchit, S., & Hirunkam, T. (2014). Multivariate analysis of heavy metal concentrations in soil, roof dust, and dustfall in Nakhon Ratchasima, Thailand. *Suranaree J. Sci. Technol.*, (2), 173–182.

Kehr, A. (1994). Usos y abusos de las correlaciones en biología. *Cuad. Herp.*, 8(2), 225 – 228.

Lande, R. (1996). Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *OIKOS*, 76(1), 5–13.





- León, K. (2014). *Evaluación de la influencia de la luz en la regeneración natural de especies leñosas bajo plantaciones de pino (Pinus patula) y Rodales Naturales de Aliso (Alnus acuminata) en Bosques Montanos de la Región Sur del Ecuador*. Universidad Nacional de Loja.
- Lodge, J. P. (1989). *Method 502: Particle fallout container measurement of dustfall from the atmosphere. In Intersociety Committee (Ed.). Methods of Air Sampling and Analysis (3rd ed.)*.
- Machado, P., & Samaniego, G. (2012). *Influencia de la carretera Cuenca Molleturo Naranjal sobre la comunidad de aves de páramo en el Parque Nacional Cajas*. Universidad del Azuay.
- Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A., & Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Haban Cienc Méd La Habana*, 8(2), 1–19. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v8n2/rhcm17209.pdf>
- Michelutti, N., Wolfe, A. P., Cooke, C. A., Hobbs, W. O., Vuille, M., & Smol, J. P. (2015). Climate change forces new ecological states in tropical Andean lakes. *PLoS ONE*, 10(2), 1–10. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0115338>
- Mićović, V., Alebić-Juretić, A., Matković, N., & Crvelin, G. (2010). Dustfall Measurements in Primorsko-Goranska County, 1975-2008. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 61(1), 37–43. <http://doi.org/10.2478/10004-1254-61-2010-1952>
- Minga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., & Ulloa, C. U. (2016). *Flora del Páramo del Cajas, Ecuador. Universidad del Azuay. Imprenta Don Bosco*. (1st ed.). Cuenca.
- Minga, D., Verdugo, A., Ansaloni, R., & Izco, J. (2012). Diversidad fitocenótica en el Parque Nacional Cajas, Azuay, Ecuador. *Herbario - Universidad Del Azuay*.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural*. Quito. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2011). Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión - Acuerdo Ministerial 050. Reforma al Libro IV del Texto





## Universidad de Cuenca

Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Acuerdo-50-NCA.pdf>

Montenegro, P. (2015). *Estimación De La Radiación Solar Y Neta a Partir De La Temperatura En Ecosistemas De Páramo Y Comparación Con Sensores a Nivel Del Suelo*. Universidad de Cuenca.

Morales, J. A., & Estévez, J. V. (2006). El Páramo: ¿Ecosistema en Vía de Extinción? *Revista Luna Azul*, 22(22), 39–51. Retrieved from [http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/fa7fadfeRevista22\\_4.pdf](http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/fa7fadfeRevista22_4.pdf)

Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. M&T - Manuales y Tesis SEA* (Vol. 1). Zaragoza.

Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanalyzing alpha diversity: Alternatives to understand and compare information about ecological communities. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249–1261. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual De Metodos Básicos De Muestreo Y Análisis En Ecología Vegetal. Proyecto Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR)*. Santa Cruz, Bolivia. Retrieved from <http://www.bionica.info/biblioteca/Mostacedo2000EcologiaVegetal.pdf>

Navarrete, E. (2016). HUELLAS DE UN “FRIO PASADO” PATRIMONIO GEOLÓGICO DEL PARQUE NACIONAL “ EL CAJAS.” *El Patrimonio Geominero En El Contexto de La Ordenación Territorial*, 181–197.

Nyce, C. (2004). The Decentralization of Protected Area Management in Ecuador: The Condor Bioserve and Cajas National Park Initiatives. *Journal of Sustainable Forestry*, 18(2-3), 65–90. <http://doi.org/10.1300/J091v18n02>

Pértega, S., & Pita, S. (2001). Representación gráfica en el análisis de datos. *Unidad de Epidemiología Clínica Y Bioestadística*, 1–11.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583–590. <http://doi.org/0378-1844/06/08/000-07> \$ 3. 00/0

Prajapati, S. K. (2012). Ecological effect of airborne particulate matter on plants.

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



*Environmental Skeptics and Critics*, 1(1), 12–22.

<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.0000/issn-2224-4263-environsc-2012-v1-0003>

Prajapati, S. K., & Tripathi, B. D. (2008). Seasonal Variation of Leaf Dust Accumulation and Pigment Content in Plant Species Exposed to Urban Particulates Pollution.

*Journal of Environment Quality*, 37(3), 865–870.

<http://doi.org/10.2134/jeq2006.0511>

Prakash, G., Kumar, B., Singh, S., & Kulshrestha, U. C. (2016). Deposition and Impact of Urban Atmospheric Dust on Two Medicinal Plants during Different Seasons in NCR Delhi. *Aerosol and Air Quality Research*, 16, 2920–2932.

<http://doi.org/10.4209/aaqr.2015.04.0272>

Przybysz, A., Saebo, A., Hanslin, H. M., & Gawróński, S. W. (2014). Accumulation of particulate matter and trace elements on vegetation as affected by pollution level, rainfall and the passage of time. *Science of the Total Environment*, 481(1), 360–369. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.072>

Restrepo, L., & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 183–192.

Sánchez, L. E. (2002). Impactos sobre los ecosistemas. In *li Curso Internacional De Aspectos Geológicos De Protección Ambiental*. Unesco. (pp. 322–331). Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/impacto-ecosis.pdf>

Santillán, G., Damián, D., Torres, S., Cargua, F., & Torres, S. (2016). Estimación del grado de contaminación del material sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH. *Perfiles*, 2(16), 8.

Spellerberg, I. (1998). Ecological effects of roads and traffic : a literature review. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7, 317–333.

Suárez, D., Acurio, C., Chimbolema, S., & Aguirre, X. (2016). De Dos Áreas Protegidas Del Ecuador Analysis of Carbon Secuestration in Two Andean Wetland Protected Areas Ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2), 171 – 177.

Subirós, J., Varga, D., Llausas, A., & Ribas, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documentos de Análisis Geográfica*, 48, 151–166.



- Takushi, S. (2011). Preferencias Sexuales de Aves a las Carreteras Los Efectos de la Carretera Cuenca - Molleturo – Naranjal en las Proporciones de los Sexos en los Individuos de la Especies de *Phrygilus Unicolor* en el Parque Nacional de Cajas. *Independent Study Project (ISP) Collection*.
- Thompson, J., Mueller, P., Flückiger, W., & Rutter, A. (1984). The effect of dust on photosynthesis and its significance for roadside plants. *Environmental Pollution. Series A, Ecological and Biological*, 34(2), 171–190. [http://doi.org/10.1016/0143-1471\(84\)90056-4](http://doi.org/10.1016/0143-1471(84)90056-4)
- Ulrichs, C., Welke, B., Mucha-Pelzer, T., Arunava, G., & Mewis, I. (2008). Effect of Solid Particulate Matter Deposits on Vegetation – A Review. *Functional Plant Science and Biotechnology. Global Science Books.*, 2(1), 56 – 62.
- Wouters, L. B., & Pauwels, M. (2012). Dust: Sources, Environmental Concerns, and Control. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Zapata, C., Quijano, R., Molina, E., Rubiano, C., & Londoño, G. (2008). Fortalecimiento de la Red De Monitoreo de La Calidad Del Aire En El Valle De Aburrá con Medidores Pasivos. *Gestión Y Ambiente*, 11(1), 2.



Universidad de Cuenca

## 7. ANEXOS

### Anexo 1. Coordenadas de estaciones meteorológicas de la Universidad Politécnica Salesiana

| Numero                     | Estación                      | Coordenadas geográficas |         |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------|
|                            |                               | X (m)                   | Y (m)   |
| 1                          | Nulti                         | 729704                  | 9682466 |
| 2                          | Santa Ana                     | 730085                  | 9672006 |
| 3                          | Llacao                        | 730418                  | 9685180 |
| 4                          | Tixan - chiquintad            | 723017                  | 9686678 |
| 5                          | CTS - yanuncay                | 720504                  | 9677509 |
| 6                          | UPS el vecino                 | 723584                  | 9680788 |
| 7                          | Irquis - victoria del portete | 713645                  | 9659192 |
| 8                          | Quingeo                       | 729055                  | 9664593 |
| 9                          | Cumbe                         | 719190                  | 9656242 |
| 10                         | Baños                         | 712899                  | 9672817 |
| 11                         | San Joaquin                   | 714405                  | 9680807 |
| 12                         | Sayausi                       | 715974                  | 9681200 |
| 13                         | Turi                          | 721103                  | 9674971 |
| 14                         | Sinincay                      | 722340                  | 9685283 |
| 15                         | Chaucha                       | 672859                  | 9678690 |
| 16                         | Molleturo                     | 676435                  | 9692152 |
| 17                         | Cajas                         | 700268                  | 9691988 |
| 18                         | Llaviuco *                    | 706449                  | 9685654 |
| *Dato obtenido de Etapa-EP |                               |                         |         |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



**Anexo 2.** Tabla de concentración de material sedimentable en todos los puntos de muestreo

| Concentraciones de material sedimentable |      |                              |                               |
|--|------|------------------------------|-------------------------------|
| Rango                                    | ID   | PS1<br>(mg/cm <sup>2</sup> ) | PS 2<br>(mg/cm <sup>2</sup> ) |
| 0-50m                                    | AL01 | 0,5886                       | 0,4842                        |
| 51-150m                                  | AL02 | 0,3491                       | 0,3111                        |
| 151-250m                                 | AL03 | 0,2359                       | 0,2008                        |
| 0-50m                                    | AR01 | 0,5459                       | 0,4254                        |
| 51-150m                                  | AR02 | 0,1022                       | 0,0643                        |
| Zona Rocosa                              | AR03 |                              |                               |
| 0-50m                                    | BL01 | 0,3422                       | 0,4753                        |
| 51-150m                                  | BL02 | 0,3725                       | 0,1563                        |
| 151-250m                                 | BL03 | 0,1950                       | 0,0504                        |
| 0-50m                                    | BR01 | 0,4644                       | 0,4379                        |
| 51-150m                                  | BR02 | 0,2644                       | 0,1059                        |
| 151-250m                                 | BR03 | 0,1840                       | 0,0800                        |
| 0-50m                                    | CL01 | 0,2306                       | 0,1647                        |
| 51-150m                                  | CL02 | 0,2366                       | 0,1154                        |
| Laguna                                   | CL03 |                              |                               |
| 0-50m                                    | CR01 | 0,2843                       | 0,1662                        |
| 51-150m                                  | CR02 | 0,2658                       | 0,0942                        |
| 151-250m                                 | CR03 | 0,2724                       | 0,1103                        |
| 0-50m                                    | DL01 | 0,4696                       | 0,3957                        |
| 51-150m                                  | DL02 | 0,2154                       | 0,2593                        |
| Laguna                                   | DL03 |                              |                               |
| 0-50m                                    | DR01 | 0,4711                       | 0,3142                        |
| 51-150m                                  | DR02 | 0,3542                       | 0,2855                        |
| 151-250m                                 | DR03 | 0,2549                       | 0,1943                        |
| 0-50m                                    | EL01 | 0,5144                       | 0,4795                        |
| 51-150m                                  | EL02 | 0,3719                       | 0,3549                        |
| 151-250m                                 | EL03 | 0,1965                       | 0,1745                        |
| 0-50m                                    | ER01 | 0,4535                       | 0,3499                        |
| 51-150m                                  | ER02 | 0,3254                       | 0,1753                        |
| 151-250m                                 | ER03 | 0,2622                       | 0,1008                        |

Elaboración propia

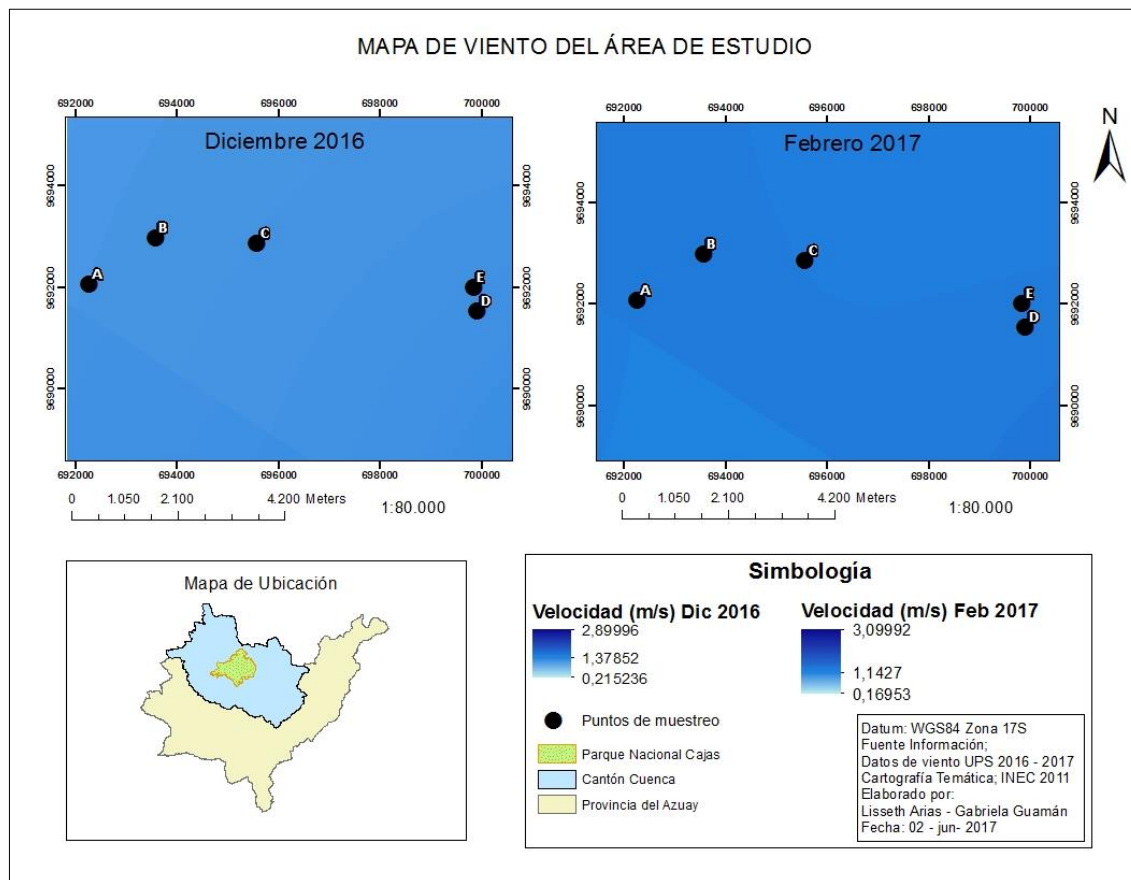


**Anexo 3.** Variables meteorológicas de diciembre 2016 y febrero 2017 del área de estudio

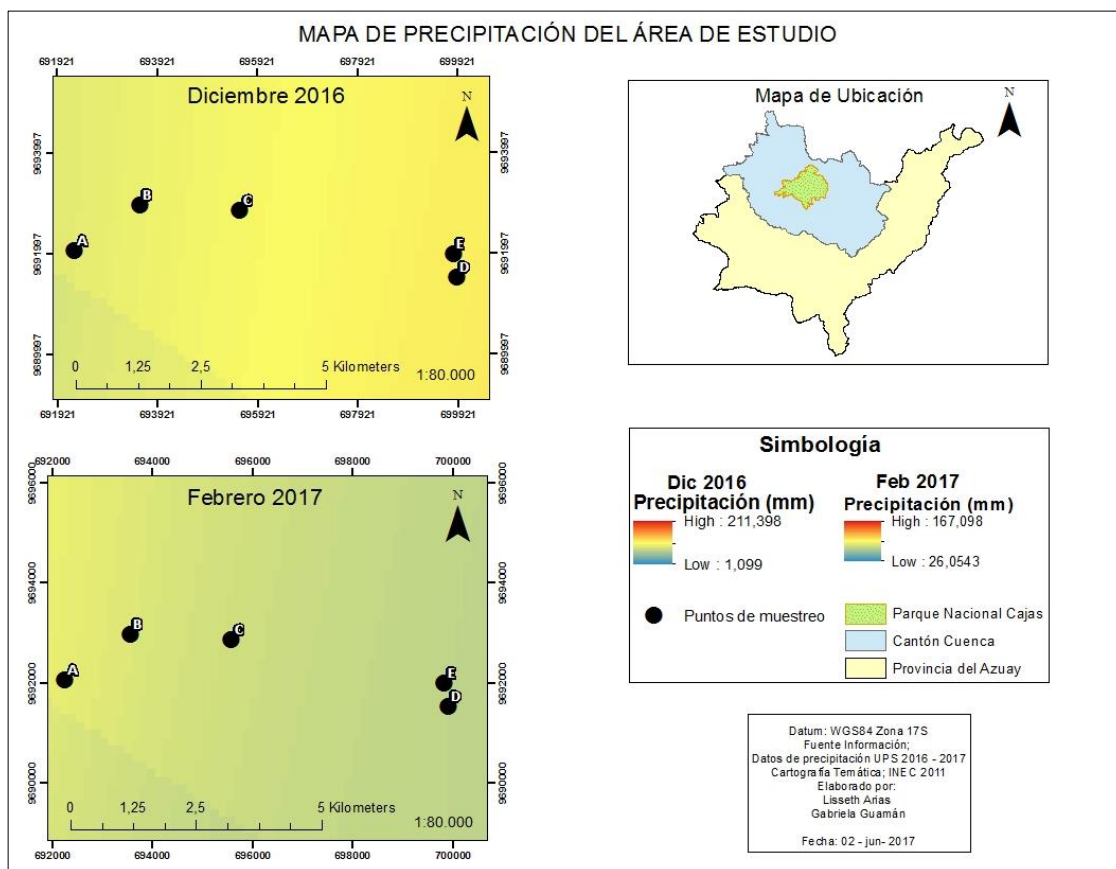
| Rango    | ID   | ALTURA<br>(metros) | Velocidad<br>viento<br>Dic 2016<br>(m/s) | Velocidad<br>viento<br>Feb 2017<br>(m/s) | Precipitación<br>Dic 2016<br>(mm) | Precipitación<br>Feb 2017<br>(mm) |
|----------|------|--------------------|--|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0-50m    | AL01 | 3788               | 1,1410                                   | 1,2096                                   | 79,6374                           | 105,6281                          |
| 51-150m  | AL02 | 3783               | 1,1415                                   | 1,2091                                   | 79,6374                           | 105,2230                          |
| 151-250m | AL03 | 3813               | 1,1421                                   | 1,2082                                   | 79,6374                           | 105,1594                          |
| 0-50m    | AR01 | 3815,5             | 1,1405                                   | 1,2099                                   | 79,0604                           | 105,6281                          |
| 51-150m  | AR02 | 3849,5             | 1,1402                                   | 1,2105                                   | 79,0604                           | 105,6281                          |
| 0-50m    | BL01 | 3947,5             | 1,1469                                   | 1,1986                                   | 83,0986                           | 102,9238                          |
| 51-150m  | BL02 | 3952               | 1,1471                                   | 1,1986                                   | 83,0986                           | 102,5883                          |
| 151-250m | BL03 | 3958               | 1,1475                                   | 1,1985                                   | 83,1431                           | 102,5883                          |
| 0-50m    | BR01 | 3944               | 1,1467                                   | 1,1985                                   | 83,0986                           | 102,9756                          |
| 51-150m  | BR02 | 3931,5             | 1,1465                                   | 1,1985                                   | 83,0555                           | 102,9756                          |
| 151-250m | BR03 | 3930,5             | 1,1462                                   | 1,1984                                   | 83,0555                           | 103,0262                          |
| 0-50m    | CL01 | 4169,5             | 1,1597                                   | 1,1882                                   | 87,6411                           | 99,1678                           |
| 51-150m  | CL02 | 4199               | 1,1599                                   | 1,1883                                   | 87,6411                           | 99,1225                           |
| 0-50m    | CR01 | 4154               | 1,1596                                   | 1,1879                                   | 87,9224                           | 99,1678                           |
| 51-150m  | CR02 | 4143,5             | 1,1595                                   | 1,1877                                   | 87,9224                           | 99,1678                           |
| 151-250m | CR03 | 4124,5             | 1,1596                                   | 1,1874                                   | 87,9224                           | 98,9731                           |
| 0-50m    | DL01 | 3857,5             | 1,2015                                   | 1,2010                                   | 94,5464                           | 94,4626                           |
| 51-150m  | DL02 | 3870               | 1,2021                                   | 1,2019                                   | 94,5464                           | 94,4626                           |
| 0-50m    | DR01 | 3854               | 1,2011                                   | 1,2005                                   | 94,5464                           | 94,4680                           |
| 51-150m  | DR02 | 3836,5             | 1,2007                                   | 1,2000                                   | 94,5084                           | 94,4680                           |
| 151-250m | DR03 | 3792,5             | 1,1996                                   | 1,1989                                   | 94,5084                           | 94,4741                           |
| 0-50m    | EL01 | 3746,5             | 1,1957                                   | 1,1952                                   | 94,2666                           | 94,5752                           |
| 51-150m  | EL02 | 3729               | 1,1966                                   | 1,1960                                   | 94,4341                           | 94,5752                           |
| 151-250m | EL03 | 3747               | 1,1977                                   | 1,1969                                   | 94,4709                           | 94,4810                           |
| 0-50m    | ER01 | 3751               | 1,1950                                   | 1,1946                                   | 94,2666                           | 94,5848                           |
| 51-150m  | ER02 | 3729               | 1,1942                                   | 1,1940                                   | 94,2307                           | 94,5848                           |
| 151-250m | ER03 | 3737               | 1,1929                                   | 1,1930                                   | 94,2307                           | 94,6847                           |

Elaboración propia

**Anexo 4.** Mapa de interpolación IDW de velocidad de viento (m/s) del área de estudio



**Anexo 5. Mapa de interpolación IDW de precipitación (mm) del área de estudio**







**Anexo 6.** Resultados del índice de correlación de Spearman entre el material sedimentable y las variables meteorológicas.



| PRIMER RANGO                             |         |         |  |         |          |          |
|--|---------|---------|--|---------|----------|----------|
|  | PS1     | PS2     | WS1                                      | WS 2    | PRECIP 1 | PRECIP 2 |
| PS1                                      | 1       |         |  |         |          |          |
| PS2                                      | 0,6606  | 1       |  |         |          |          |
| WS 1                                     | -0,1878 | -0,3696 | 1  |         |          |          |
| WS 2                                     | 0,7939  | 0,5072  | -0,2727                                  | 1       |          |          |
| PRECIP 1                                 | -0,1834 | -0,4098 | 0,9786                                   | -0,3058 | 1        |          |
| PRECIP 2                                 | 0,1890  | 0,3902  | -0,9939                                  | 0,2743  | -0,9846  | 1        |
| SEGUNDO RANGO                            |         |         |  |         |          |          |
|  | PS1     | PS2     | WS1                                      | WS 2    | PRECIP 1 | PRECIP 2 |
| PS1                                      | 1       |         |  |         |          |          |
| PS2                                      | 0,6000  | 1       |  |         |          |          |
| WS 1                                     | 0,1636  | 0,5272  | 1  |         |          |          |
| WS 2                                     | -0,1515 | 0,1636  | -0,2727                                  | 1       |          |          |
| PRECIP 1                                 | 0,1878  | 0,5030  | 0,9878                                   | -0,2848 | 1        |          |
| PRECIP 2                                 | -0,1636 | -0,5072 | -1                                       | 0,2727  | -0,9878  | 1        |
| TERCER RANGO                             |         |         |  |         |          |          |
|  | PS1     | PS2     | WS1                                      | WS 2    | PRECIP 1 | PRECIP 2 |
| PS1                                      | 1       |         |  |         |          |          |
| PS2                                      | 0,3928  | 1       |  |         |          |          |
| WS 1                                     | 0,3928  | 0,1785  | 1  |         |          |          |
| WS 2                                     | -0,4285 | 0,3928  | -0,2857                                  | 1       |          |          |
| PRECIP 1                                 | 0,3928  | 0,1785  | 1  | -0,2857 | 1        |          |
| PRECIP 2                                 | -0,3928 | -0,1785 | -1                                       | 0,2857  | -1       | 1        |
| PS1 = Partículas sedimentables del mes 1 |         |         | PS2 = Partículas sedimentables del mes 2 |         |          |          |
| WS1= Velocidad del viento del mes 1      |         |         | WS2= Velocidad del viento del mes 2      |         |          |          |
| PRECIP 1= Precipitación del mes 1        |         |         | PRECIP 2= Precipitación del mes 2        |         |          |          |

**Elaboración Propia**



Universidad de Cuenca



**Anexo 7.** Tabla taxonómica de las especies vegetales encontradas en el área de estudio

| FAMILIA     | GENERO           | ESPECIE                      | NOMBRE COMÚN      | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO   |
|-------------|------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|------------|--|
| *Asteraceae | <i>Baccharis</i> | <i>Baccharis arbutifolia</i> | No Registrado     | SI                | 8          |   |
| *Asteraceae | <i>Baccharis</i> | <i>Baccharis latifolia</i>   | Chilca de lo alto | NO                | 44         |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León





Universidad de Cuenca

| FAMILIA      | GENERO     | ESPECIE                     | NOMBRE COMÚN  | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO   |
|--------------|------------|-----------------------------|---------------|-------------------|------------|--|
| *Asteraceae  | Baccharis  | <i>Baccharis tricuneata</i> | No registrado | NO                | 8          |   |
| **Asteraceae | Chuquiraga | <i>Chuquiraga jussieui</i>  | Chuquiragua   | NO                | 53         |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León





Universidad de Cuenca

| FAMILIA      | GENERO               | ESPECIE                        | NOMBRE COMÚN  | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO   |
|--------------|----------------------|--------------------------------|---------------|-------------------|------------|--|
| *Asteraceae  | <i>Diplostephium</i> | <i>Diplostephium ericoides</i> | No registrado | SI                | 99         |   |
| **Asteraceae | <i>Diplostephium</i> | <i>Diplostephium hartwegii</i> | Contrahierba  | NO                | 7          |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León





Universidad de Cuenca

| FAMILIA     | GENERO               | ESPECIE                            | NOMBRE COMÚN  | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO   |
|-------------|----------------------|------------------------------------|---------------|-------------------|------------|--|
| *Asteraceae | <i>Diplostephium</i> | <i>Diplostephium oblanceolatum</i> | Contrahierba  | SI                | 37         |   |
| *Asteraceae | <i>Gynoxys</i>       | <i>Gynoxys miniphylla</i>          | Tucshi hembra | SI                | 37         |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



Universidad de Cuenca



| FAMILIA      | GENERO     | ESPECIE                       | NOMBRE COMÚN  | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO   |
|--------------|------------|-------------------------------|---------------|-------------------|------------|--|
| *Asteraceae  | Loricaria  | <i>Loricaria Illinissae</i>   | No registrado | SI                | 22         |   |
| **Asteraceae | Monticalia | <i>Monticalia arbutifolia</i> | No registrado | SI                | 4          |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León






Universidad de Cuenca

| FAMILIA      | GENERO            | ESPECIE                       | NOMBRE COMÚN  | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO   |
|--------------|-------------------|-------------------------------|---------------|-------------------|------------|--|
| **Asteraceae | <i>Monticalia</i> | <i>Monticalia myrsinites</i>  | No registrado | SI                | 101        |   |
| *Asteraceae  | <i>Monticalia</i> | <i>Monticalia vacciniodes</i> | Cubilán       | NO                | 29         |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



Universidad de Cuenca



| FAMILIA                 | GENERO           | ESPECIE                   | NOMBRE COMÚN | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO  |
|-------------------------|------------------|---------------------------|--------------|-------------------|------------|---|
| <i>*Berberidaceae</i>   | <i>Berberis</i>  | <i>Berberis lutea</i>     | Shuspilla    | NO                | 15         |    |
| <i>*Berberidaceae</i>   | <i>Berberis</i>  | <i>Berberis rigida</i>    | Shuspilla    | NO                | 21         |   |
| <i>**Caprifoliaceae</i> | <i>Valeriana</i> | <i>Valeriana hirtella</i> | Romero sachá | NO                | 38         |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León







Universidad de Cuenca

| FAMILIA                 | GENERO           | ESPECIE                      | NOMBRE COMÚN | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO   |
|-------------------------|------------------|------------------------------|--------------|-------------------|------------|--|
| * <i>Caprifoliaceae</i> | <i>Valeriana</i> | <i>Valeriana microphylla</i> | Romero sachá | NO                | 267        |   |
| * <i>Ericaceae</i>      | <i>Pernettya</i> | <i>Pernettya prostrata</i>   | Borrachera   | NO                | 6          |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León





Universidad de Cuenca

| FAMILIA               | GENERO           | ESPECIE                    | NOMBRE COMÚN | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO  |
|-----------------------|------------------|----------------------------|--------------|-------------------|------------|---|
| <i>**Hypericaceae</i> | <i>Hypericum</i> | <i>Hypericum aciculare</i> | Romerillo    | NO                | 30         |  |
| <i>*Hypericaceae</i>  | <i>Hypericum</i> | <i>Hypericum quitense</i>  | Romerillo    | SI                | 227        |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León





Universidad de Cuenca

| FAMILIA          | GENERO              | ESPECIE                         | NOMBRE COMÚN | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO   |
|------------------|---------------------|---------------------------------|--------------|-------------------|------------|--|
| *Melastomataceae | <i>Brachyotum</i>   | <i>Brachyotum jamesonii</i>     | Zarza        | SI                | 198        |   |
| *Rosaceae        | <i>Hesperomeles</i> | <i>Hesperomeles obtusifolia</i> | Casha jalo   | NO                | 11         |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León





Universidad de Cuenca

| FAMILIA   | GENERO           | ESPECIE                     | NOMBRE COMÚN    | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO   |
|-----------|------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|------------|--|
| *Rosaceae | <i>Polylepis</i> | <i>Polylepis racemosa</i>   | Quinua          | NO                | 53         |   |
| *Rosaceae | <i>Polylepis</i> | <i>Polylepis lanuginosa</i> | Quinua colorada | SI                | 17         |  |

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



Universidad de Cuenca

| FAMILIA                                    | GENERO               | ESPECIE                         | NOMBRE COMÚN        | ENDEMISMO ECUADOR | ABUNDANCIA | FOTO   |
|--|----------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------|------------|--|
| *Rubiaceae                                 | <i>Arcytophyllum</i> | <i>Arcytophyllum Vernicosum</i> | Romerillo de Altura | NO                | 25         |   |
| **Symplocaceae                             | <i>Symplocos</i>     | <i>Symplocos nana</i>           | No Registrado       | NO                | 1          |  |
| * Fotografía propia                        |                      |                                 |                     |                   |            |  |
| ** Fotografía tomada de Minga et al., 2016 |                      |                                 |                     |                   |            |  |

**Elaboración Propia.**

Liseth Paola Arias Pillajo  
Diana Gabriela Guamán León



**Anexo 8.** Tabla de valores de abundancia de especies por rangos

| ESPECIE                            | RANGO      |            |            | TOTAL |
|------------------------------------|------------|------------|------------|-------|
|                                    | 0-50m      | 51-150m    | 151-250m   |       |
|                                    | ABUNDANCIA | ABUNDANCIA | ABUNDANCIA |       |
| <i>Berberis lutea</i>              | 12         | 2          | 1          | 15    |
| <i>Valeriana microphylla</i>       | 100        | 92         | 75         | 267   |
| <i>Polylepis racemosa</i>          | 42         | 10         | 1          | 53    |
| <i>Polylepis lanuginosa</i>        | 17         | 0          | 0          | 17    |
| <i>Brachyotum jamesonii</i>        | 29         | 88         | 81         | 198   |
| <i>Chuquiraga jussieui</i>         | 12         | 34         | 7          | 53    |
| <i>Baccharis arbutifolia</i>       | 5          | 3          | 0          | 8     |
| <i>Hypericum quitense</i>          | 50         | 105        | 72         | 227   |
| <i>Diplostephium oblanceolatum</i> | 0          | 10         | 27         | 37    |
| <i>Berberis rigida</i>             | 14         | 1          | 6          | 21    |
| <i>Diplostephium ericoides</i>     | 31         | 33         | 35         | 99    |
| <i>Monticalia arbutifolia</i>      | 4          | 12         | 85         | 101   |
| <i>Gynoxys miniphylla</i>          | 3          | 15         | 19         | 37    |
| <i>Pernettya prostrata</i>         | 6          | 0          | 0          | 6     |
| <i>Monticalia vacciniodes</i>      | 10         | 7          | 12         | 29    |
| <i>Loricaria Illinissae</i>        | 5          | 12         | 5          | 22    |
| <i>Loricaria myrsinites</i>        | 0          | 0          | 4          | 4     |
| <i>Baccharis latifolia</i>         | 0          | 36         | 8          | 44    |
| <i>Hesperomeles obtusifolia</i>    | 0          | 4          | 7          | 11    |
| <i>Diplostephium hartwegii</i>     | 0          | 7          | 0          | 7     |
| <i>Valeriana hirtella</i>          | 26         | 12         | 0          | 38    |
| <i>Hypericum aciculare</i>         | 23         | 7          | 0          | 30    |
| <i>Symplocos nana</i>              | 1          | 0          | 0          | 1     |
| <i>Baccharis tricuneata</i>        | 1          | 5          | 2          | 8     |
| <i>Arcytophyllum Vernicosum</i>    | 0          | 21         | 4          | 25    |
| Total Abundancia                   | 391        | 516        | 451        | 1358  |
| Total Riqueza                      | 19         | 21         | 18         |       |

Elaboración propia



**Anexo 9.** Tabla de valores de índice de Shannon e Índice de Shannon máximo por transecto

| TRANSECTO | RIQUEZA | ABUNDANCIA | INDICE DE SHANNON | INDICE SHANNON MÁXIMO |
|-----------|---------|------------|-------------------|-----------------------|
| AL01      | 5       | 46         | 1,3301            | 1,6094                |
| AL02      | 5       | 6          | 1,5607            | 1,6094                |
| AL03      | 6       | 52         | 1,3883            | 1,7917                |
| AR01      | 9       | 121        | 1,5118            | 2,1972                |
| AR02      | 5       | 39         | 0,5899            | 1,6094                |
| BL01      | 4       | 19         | 1,1138            | 1,3862                |
| BL02      | 4       | 21         | 1,3378            | 1,3862                |
| BL03      | 6       | 119        | 1,0602            | 1,7917                |
| BR01      | 5       | 41         | 1,3618            | 1,6094                |
| BR02      | 5       | 101        | 1,0216            | 1,6094                |
| BR03      | 5       | 79         | 1,2826            | 1,6094                |
| CL01      | 4       | 20         | 1,1648            | 1,3862                |
| CL02      | 5       | 14         | 1,5124            | 1,6094                |
| CR01      | 1       | 1          | 0                 | 0                     |
| CR02      | 5       | 14         | 1,3379            | 1,6094                |
| CR03      | 5       | 20         | 1,2285            | 1,6094                |
| DL01      | 8       | 22         | 1,7665            | 2,0794                |
| DL02      | 11      | 73         | 2,1784            | 2,3978                |
| DR01      | 4       | 14         | 1,171             | 1,3862                |
| DR02      | 8       | 92         | 1,7693            | 2,0794                |
| DR03      | 5       | 34         | 1,2909            | 1,6094                |
| EL01      | 4       | 14         | 1,0913            | 1,3862                |
| EL02      | 4       | 39         | 0,3557            | 1,3862                |
| EL03      | 9       | 74         | 1,573             | 2,1972                |
| ER01      | 4       | 35         | 1,0691            | 1,3862                |
| ER02      | 6       | 117        | 1,2458            | 1,7917                |
| ER03      | 9       | 131        | 1,5504            | 2,1972                |

Elaboración propia